

本資料のうち、枠囲みの内容は
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-8 改 12
提出年月日	平成 30 年 5 月 28 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-8

【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】

平成 30 年 5 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	H30.2.5	補足-348 改0として提出 ・1.1章, 1.4.1章, 1.4.4~1.4.7章を提出
改1	H30.2.15	補足-348 改1として提出 ・1.5章を新規作成し, 改0に追加
改2	H30.2.19	補足-348 改2として提出 ・改1のうち, 1.1章, 1.4.4~1.4.7章を修正
改0	H30.3.7	資料番号を修正 補足-340-8 改0 ・「1.4. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方」のうち, 1.4.3章, 1.4.8~1.4.10章, 1.4.12章を新規作成し, 追加
改1	H30.3.26	・P.3~5に補足説明資料と添付書類との関連を記載 ・1.4.1章, 1.4.4章~1.4.7章を修正 ・4章を新規作成し, 追加
改2	H30.4.6	・1.4.2章, 1.4.11章, 1.4.17章を新規作成し, 追加 ・4章を修正 ・12章を新規作成し, 追加
改3	H30.4.9	・1.3章, 2章を新規作成し, 追加 ・4.4章を修正
改4	H30.4.9	・1.2章, 8章, 11章を新規作成し, 追加
改5	H30.4.12	・10章を新規作成し, 追加
改6	H30.4.13	・1.4.13章, 1.4.14章, 1.4.15章, 1.4.16章, 1.4.18章を新規作成し, 追加 ・1.5章, 1.6章を新規作成し, 追加 ・5章, 6章, 7章, 9章, 14章, 16章, 17章を新規作成し, 追加
改7	H30.4.23	・10章, 11章, 17章を修正 ・3章, 13章, 15章, 18章を新規作成し, 追加
改8	H30.4.27	・既提出分を一式取り纏めて, 再提出
改9	H30.5.2	・改6のうち, 1.6章及び5章を改定 ・改3のうち, 4章を改訂
改10	H30.5.14	・1.7章, 1.8章を新規作成し, 追加
改11	H30.5.23	・改0のうち, 1.4.10章を改定 ・改7のうち, 10章を改定 ・改9のうち, 1.6章を改定
改12	H30.5.28	・改3のうち, 1.4.2章を改定 ・改3のうち, 2章を改定

目次

[]内は、当該箇所を提出（最新）したときの改訂を示す。

1. 共通事項
 - 1.1 対象設備[改 7 H30. 4. 23]
 - 1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容[改 4 H30. 4. 9]
 - 1.3 安全係数[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4 屋外重要土木構造部の耐震評価における断面選定の考え方
 - 1.4.1 方針[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方[改 12 H30. 5. 28]
 - 1.4.3 屋外二重管の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の断面選定の考え方[改 1 H30. 3. 26]
 - 1.4.8 代替淡水貯槽の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.9 常設低圧代替注水系ポンプ室の断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面選定の考え方[改 11 H30. 3. 8]
 - 1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.12 緊急用海水ポンプピットの断面選定の考え方[改 0 H30. 3. 8]
 - 1.4.13 緊急用海水取水管の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.14 S A用海水ピットの断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.15 海水引込み管の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.16 S A用海水ピット取水塔の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面選定の考え方[改 3 H30. 4. 9]
 - 1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面選定の考え方[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.5 地盤物性のばらつきの考慮方法[改 6 H30. 4. 16]
 - 1.6 許容応力度法における許容限界について[改 11 H30. 5. 23]
 - 1.7 ジョイント要素のばね設定について[改 10 H30. 5. 14]
 - 1.8 有効応力解析モデルへの入力地震動の算定方法について[改 10 H30. 5. 14]
2. 取水構造物の耐震安全性評価[改 12 H30. 5. 28]
3. 屋外二重管の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
4. 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価[改 9 H30. 5. 2]
5. 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震安全性評価[改 9 H30. 5. 2]
6. 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
7. 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
8. 代替淡水貯槽の耐震安全性評価[改 4 H30. 4. 9]
9. 常設低圧代替注水系ポンプ室の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
10. 常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価[改 11 H30. 5. 23]
11. 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]

12. 緊急用海水ポンプピットの耐震安全性評価[改 3 H30. 4. 9]
13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
14. S A用海水ピットの耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
15. 海水引込み管の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
16. S A用海水ピット取水塔の耐震安全性評価[改 6 H30. 4. 16]
17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価[改 7 H30. 4. 23]

本補足説明資料は、耐震性に関する説明書のうち屋外重要土木構造物の耐震安全性評価についての内容を補足するものである。本補足説明資料と添付書類との関連を以下に示す。

補足説明資料と添付書類との関連

工事計画に係る補足説明資料 耐震性に関する説明書のうち 補足-340-8 【屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について】		該当添付書類	
1. 共通事項	1.1 対象設備	共通事項	
	1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容	共通事項	
	1.3 安全係数	共通事項	
	1.4 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方	1.4.1 方針	共通事項
		1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方	V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書
		1.4.3 屋外二重管	V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書
		1.4.4 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備	V-2-2-21-1 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書
		1.4.5 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）	V-2-2-21-3 常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書
		1.4.6 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）	V-2-2-21-4 常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書
		1.4.7 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）	V-2-2-21-2 常設代替高圧電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書
		1.4.8 代替淡水貯槽	V-2-2-27 代替淡水貯槽の地震応答計算書
		1.4.9 常設低圧代替注水系ポンプ室	V-2-2-25 常設低圧代替注水系ポンプ室の地震応答計算書
		1.4.10 常設低圧代替注水系配管カルバート	V-2-2-29 常設低圧代替注水系配管カルバートの地震応答計算書
		1.4.11 格納容器圧力逃がし装置用カルバート	V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書
		1.4.12 緊急用海水ポンプピット	V-2-2-33 緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書
		1.4.13 緊急用海水取水管	V-2-10-4-5 緊急用海水取水管の耐震性についての計算書
		1.4.14 SA用海水ピット	V-2-2-31 SA用海水ピットの地震応答計算書
		1.4.15 海水引込み管	V-2-10-4-3 海水引込み管の耐震性についての計算書
		1.4.16 SA用海水ピット取水塔	V-2-10-4-2 SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書
1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎		V-2-2-11 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	
1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎		V-2-2-23 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書	

	1.5 地盤物性・材料物性のばらつきの考慮方法	共通事項
	1.6 許容応力度法における許容限界について	共通事項
	1.7 ジョイント要素のばね設定について	共通事項
	1.8 有効応力解析モデルへの入力地震動の算定方法について	共通事項
2.	取水構造物の耐震安全性評価	V-2-2-6 取水構造物の地震応答計算書 V-2-2-7 取水構造物の耐震性についての計算書
3.	屋外二重管の耐震安全性評価	V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書 V-2-2-9 屋外二重管の耐震性についての計算書
4.	常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震安全性評価	V-2-2-21-1 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書 V-2-2-22-1 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の耐震性についての計算書
5.	常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-3 常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部）の地震応答計算書 V-2-2-22-3 常設代替高压電源装置用カルバート（トンネル部）の耐震性についての計算書
6.	常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-4 常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）の地震応答計算書 V-2-2-22-4 常設代替高压電源装置用カルバート（立坑部）の耐震性についての計算書
7.	常設代替高压電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震安全性評価	V-2-2-21-2 常設代替高压電源装置用カルバート（カルバート部）の地震応答計算書 V-2-2-22-2 常設代替高压電源装置用カルバート（カルバート部）の耐震性についての計算書
8.	代替淡水貯槽の耐震安全性評価	V-2-2-27 代替淡水貯槽の地震応答計算書 V-2-2-28 代替淡水貯槽の耐震性についての計算書
9.	常設低压代替注水系ポンプ室の耐震安全性評価	V-2-2-25 常設低压代替注水系ポンプ室の地震応答計算書 V-2-2-26 常設低压代替注水系ポンプ室の耐震性についての計算書
10.	常設低压代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価	V-2-2-29 常設低压代替注水系配管カルバートの地震応答計算書 V-2-2-30 常設低压代替注水系配管カルバートの耐震性についての計算書

11. 格納容器圧力逃がし装置用カルバートの耐震安全性評価	V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの地震応答計算書 V-2-2-20 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震性についての計算書
12. 緊急用海水ポンプピットの耐震安全性評価	V-2-2-33 緊急用海水ポンプピットの地震応答計算書 V-2-2-34 緊急用海水ポンプピットの耐震性についての計算書
13. 緊急用海水取水管の耐震安全性評価	V-2-10-4-5 緊急用海水取水管の耐震性についての計算書
14. SA用海水ピットの耐震安全性評価	V-2-2-31 SA用海水ピットの地震応答計算書 V-2-2-32 SA用海水ピットの耐震性についての計算書
15. 海水引込み管の耐震安全性評価	V-2-10-4-3 海水引込み管の耐震性についての計算書
16. SA用海水ピット取水塔の耐震安全性評価	V-2-10-4-2 SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書
17. 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価	V-2-2-11 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の地震応答計算書 V-2-2-12 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書
18. 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価	V-2-2-23 可搬型設備用軽油タンク基礎の地震応答計算書 V-2-2-24 可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書

1. 共通事項

1.1 対象設備

耐震安全性評価の対象とする屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管の間接支持構造物若しくは非常時における海水の通水機能・貯水機能を求められる取水構造物，屋外二重管，貯留堰，常設代替高圧電源装置置場及び常設代替高圧電源装置用カルバートである。

また，同様に耐震安全性評価の対象とする「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備」及び「常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設」に該当する土木構造物である代替淡水貯槽，常設低圧代替注水系ポンプ室，常設低圧代替注水系配管カルバート，格納容器圧力逃がし装置用カルバート，緊急用海水ポンプピット，緊急用海水取水管，SA用海水ピット，海水引込み管，SA用海水ピット取水塔，緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎，可搬型設備用軽油タンク基礎についても記載する。

なお，防潮堤及び貯留堰については，津波防護施設としての耐震安全性評価を別途実施する。これらの屋外重要土木構造物等の位置図を図1.1-1に示す。

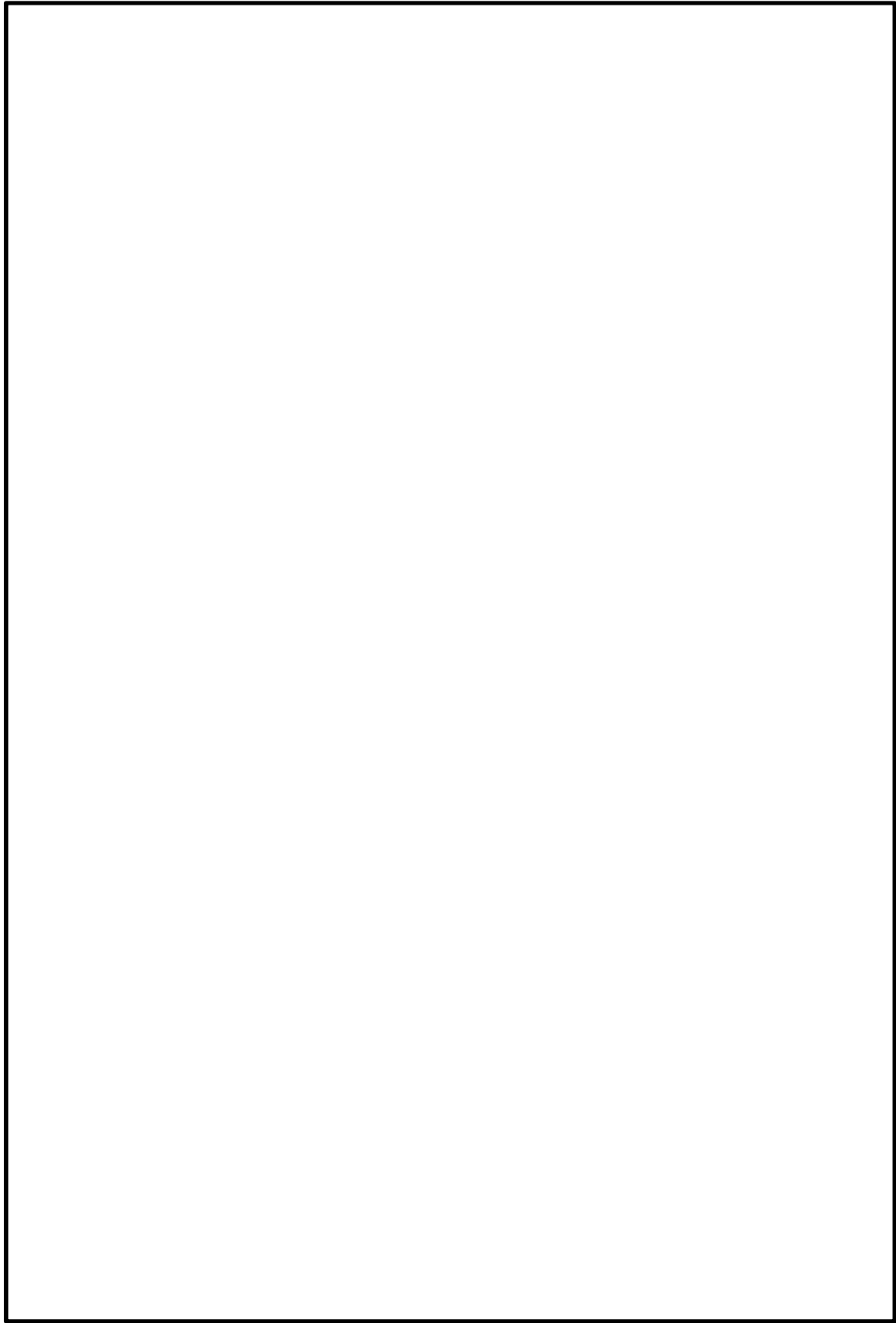


图 1.1-1 屋外重要土木构造物等位置图

1.4 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方

1.4.1 方針

屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の形状、配置、荷重条件及び地質構造等を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。

評価対象断面の選定の流れについて以下に示す。

① 耐震評価候補断面の整理

以下の観点にて、耐震評価候補断面を整理する。

- ・ 間接支持される機器・配管系の有無及び設置位置
- ・ 構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）
- ・ 周辺状況（上載荷重、地盤条件変化部、隣接する構造物）
- ・ 地震力の特性（地質構造）
- ・ 機器・構造物への加速度応答及び変位応答算出位置（加速度応答及び変位応答特性）

② 評価対象断面の選定

①にて整理した耐震評価候補断面に対して、間接支持される機器・配管系の有無、構造的特徴、周辺状況及び地震力の特性等が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から、耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として絞込む。

また、長尺な構造物である屋外二重管、常設代替高圧電源装置用カルバート（トンネル部）、緊急用海水取水管及び海水引込み管については、地震力の特性（地質構造）を確認するため1次元地震応答解析を行い、評価対象断面の絞込みを行う。

更に、各条件（構造的特徴、周辺状況等）を組合せた断面を作成し、保守的な条件設定により評価を実施する場合がある。

なお、機器・配管系の加速度応答及び変位応答の観点から、評価対象以外の断面について地震応答解析を実施する場合がある。

1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方

図 1.4.2-1 に取水構造物の平面配置図を示す。また、図 1.4.2-2 に取水構造物の平面図及び縦断図を、図 1.4.2-3 に取水構造物の断面図を示す。

取水構造物は、Sクラス設備である残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ（以下「非常用海水ポンプ」という。）、取水路点検用開口部浸水防止蓋、海水ポンプグランド dren 排出口逆止弁、取水ピット空気抜き配管逆止弁、潮位計、取水ピット水位計等の間接支持機能を有する。

図 1.4.2-4 に上載構造物概略位置図を示す。また、非常用海水ポンプ周囲の非常用海水配管及びストレーナの配置を図 1.4.2-5 に示す。

取水構造物は、延長約 57 m、幅約 43 m、高さ約 12 m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。取水方向に対して複数の断面形状を示すが、構造的には多連ボックスカルバート状のラーメン構造である。

取水路である 8 連のボックスカルバート区間においては、頂版には取水方向に概ね規則的に開口が存在する。図 1.4.2-6 に取水路の開口位置を示す。

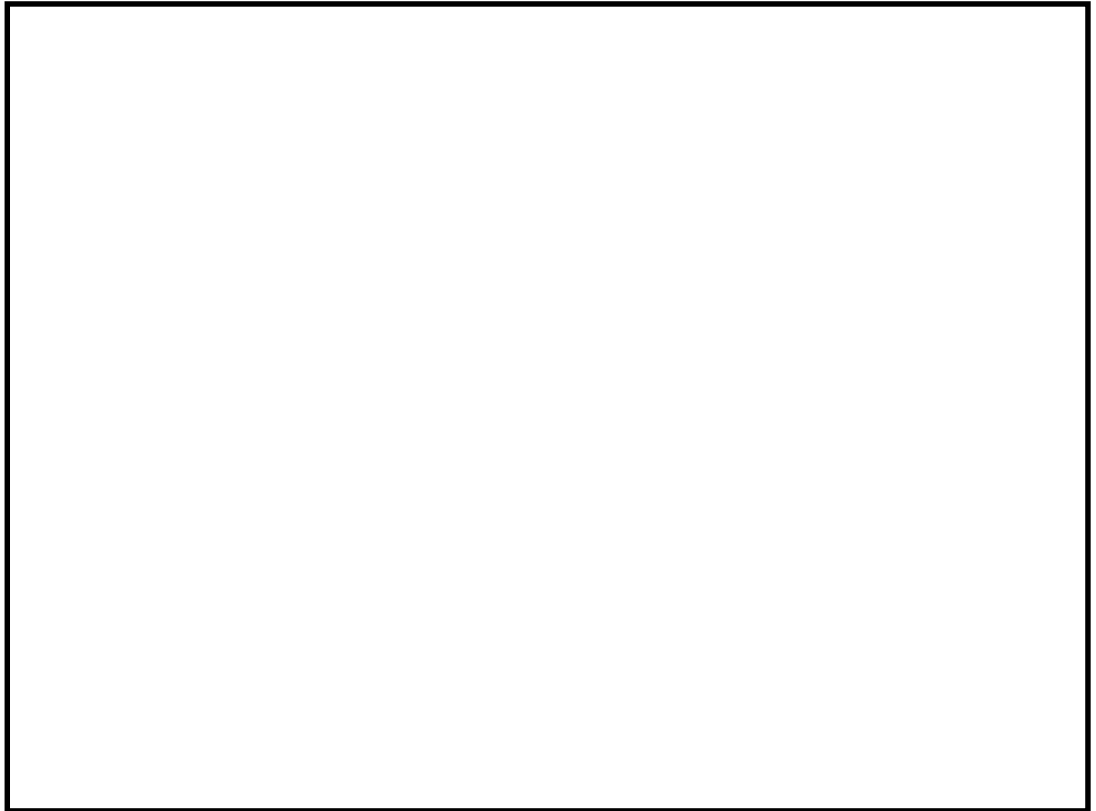


図 1.4.2-1 (1) 取水構造物の平面配置図 (全体平面図)



図 1.4.2-1 (2) 取水構造物の平面配置図 (拡大図)

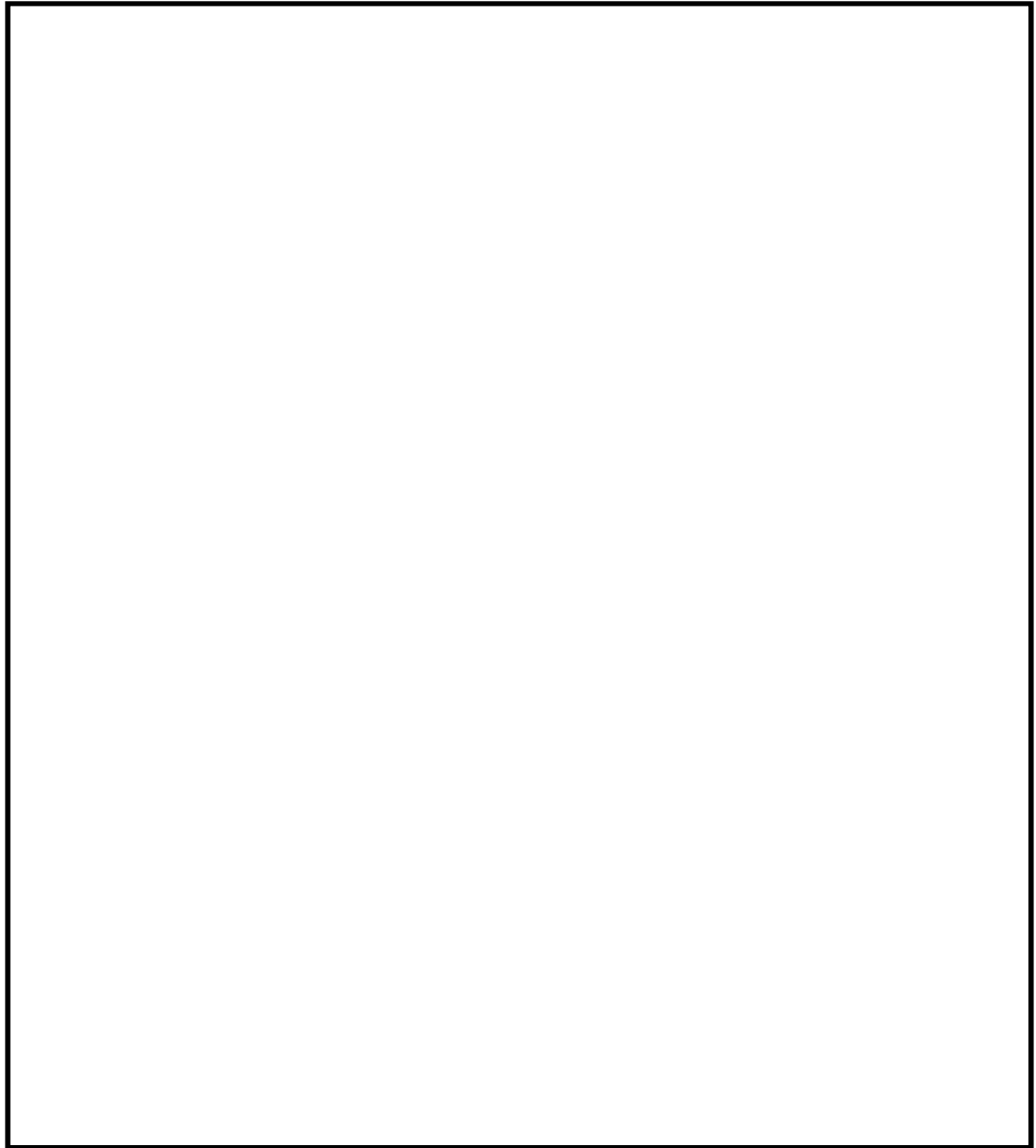


図 1.4.2-2 取水構造物の平面図及び縦断図



図 1.4.2-3 (1) 取水構造物の断面図 (取水ピット)



図 1.4.2-3 (2) 取水構造物の断面図 (取水路)

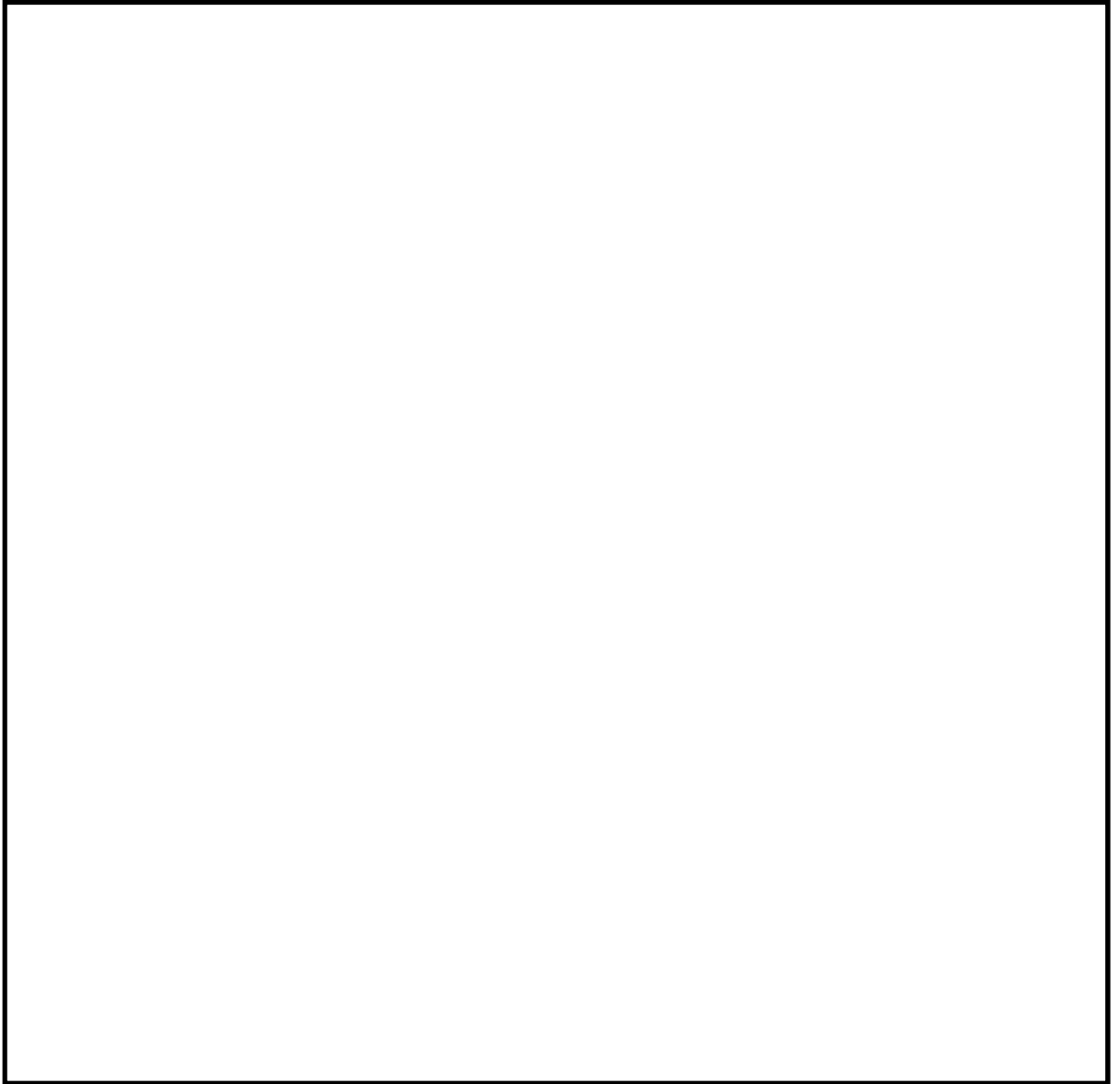


图 1.4.2-4 上載構造物概略位置図

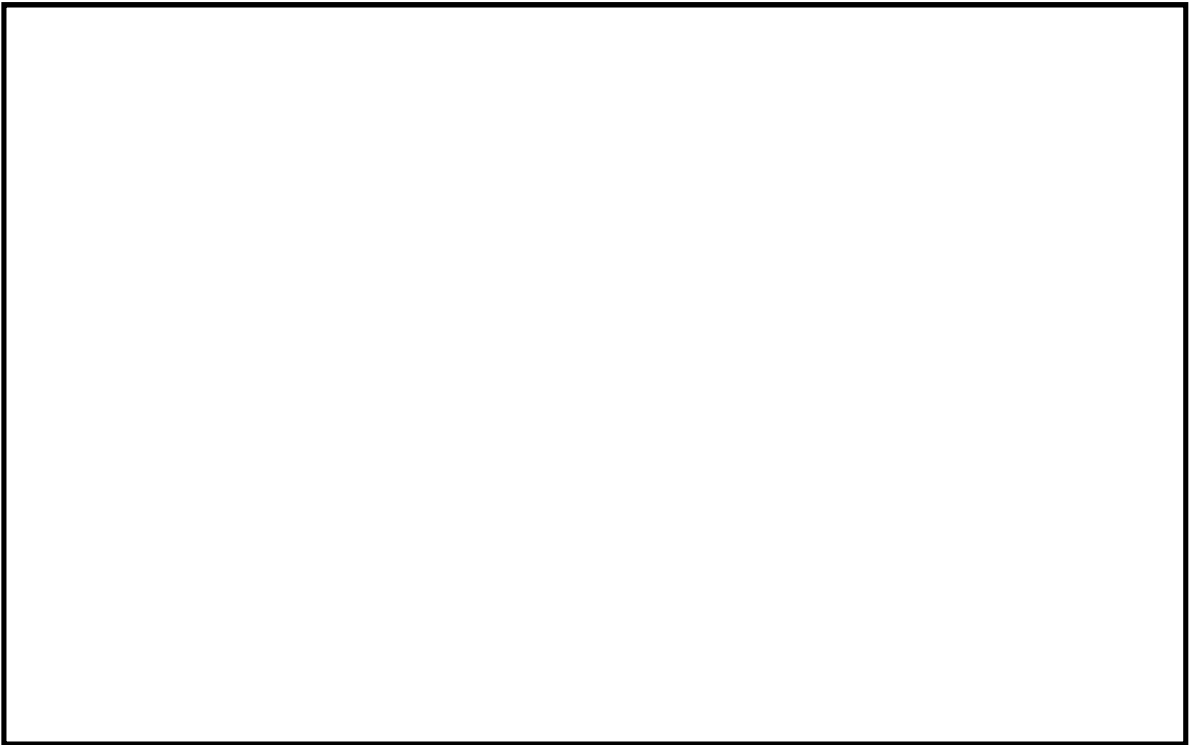


図 1.4.2-5 非常用海水配管及びストレーナの配置

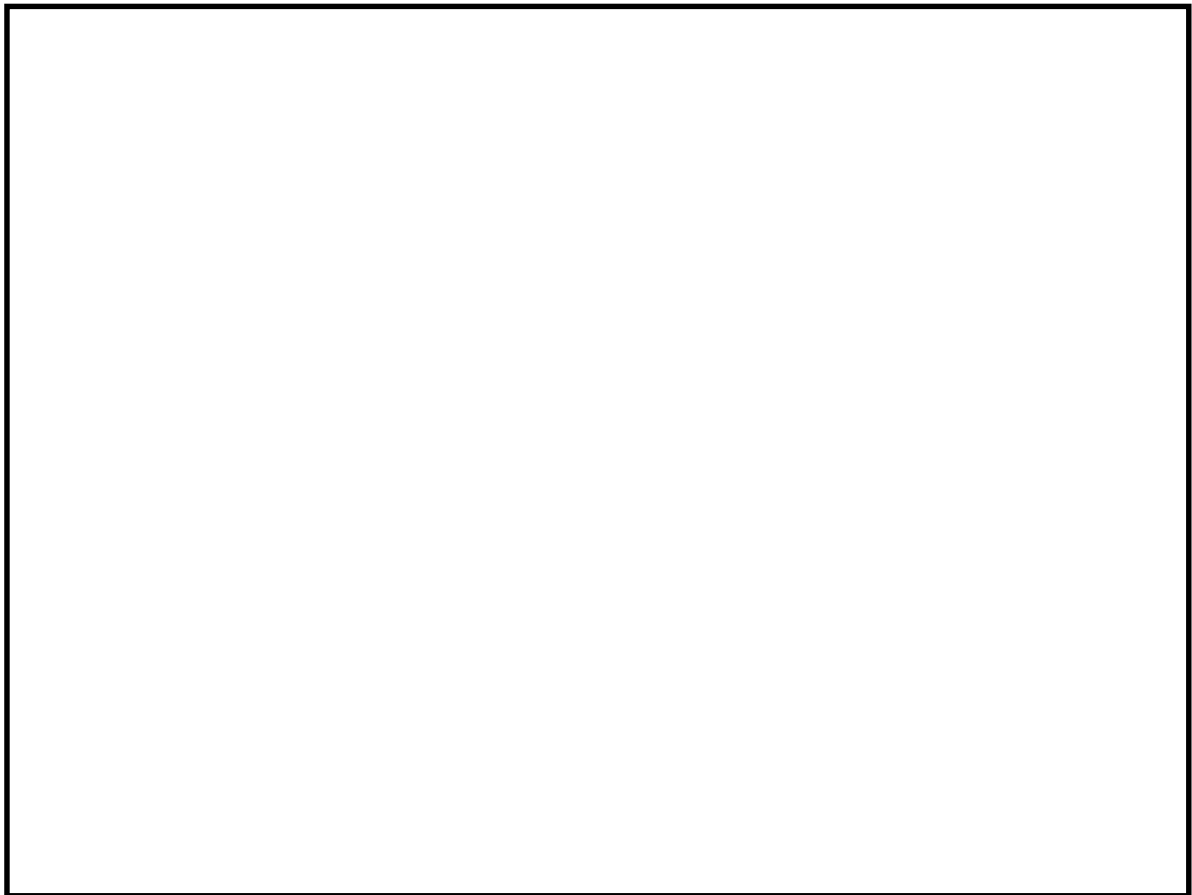


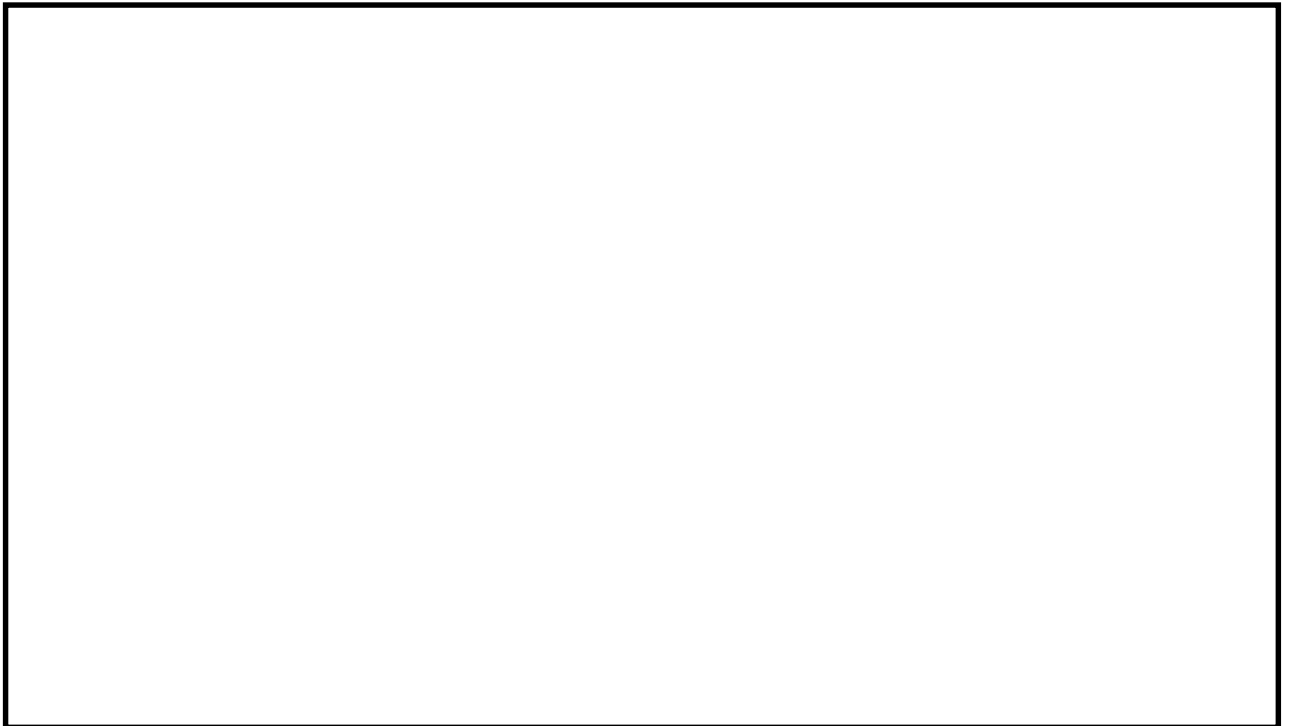
図 1.4.2-6 取水路区間の開口位置

(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①断面評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。取水構造物においては、縦断方向（通水方向）は、加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸断面方向となる。一方、横断方向（通水方向に対し直交する方向）は、通水機能を確保するため、加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから弱軸断面方向となる。評価対象断面の方向の選定を表 1.4.2-1 に示す。

以上のことから、取水構造物の耐震性評価では、構造の安定性に対し支配的な弱軸断面方向である横断方向を評価対象断面の方向とする。主要構造区分と耐震評価候補断面位置を図 1.4.2-7 に、取水構造物の周辺地質構造を図 1.4.2-8 に示す。各耐震評価候補断面図の特徴を表 1.4.2-2 に、①-①～⑥-⑥の各断面図を図 1.4.2-9 示す。

表 1.4.2-1 取水構造物の評価対象断面の方向の選定



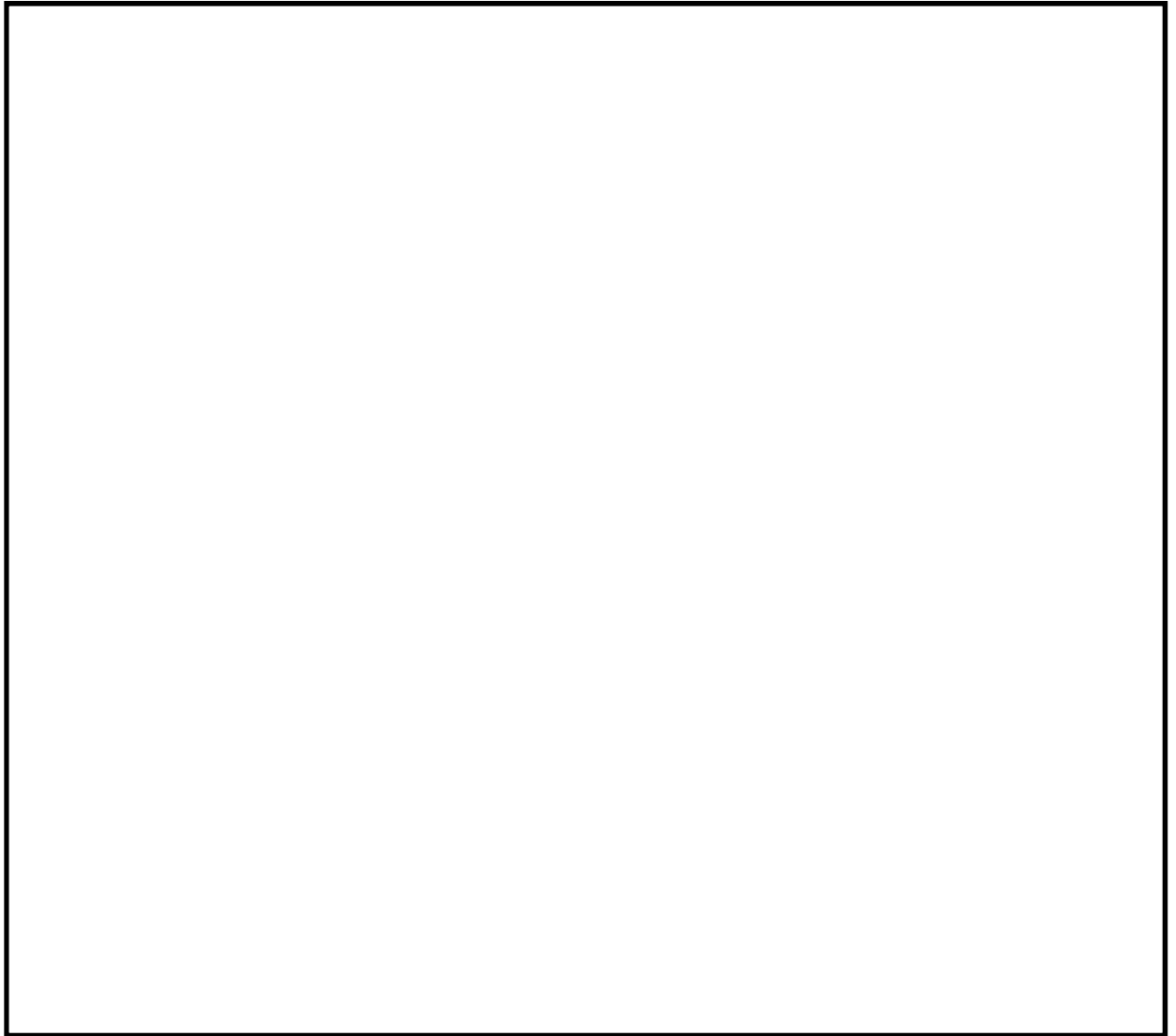
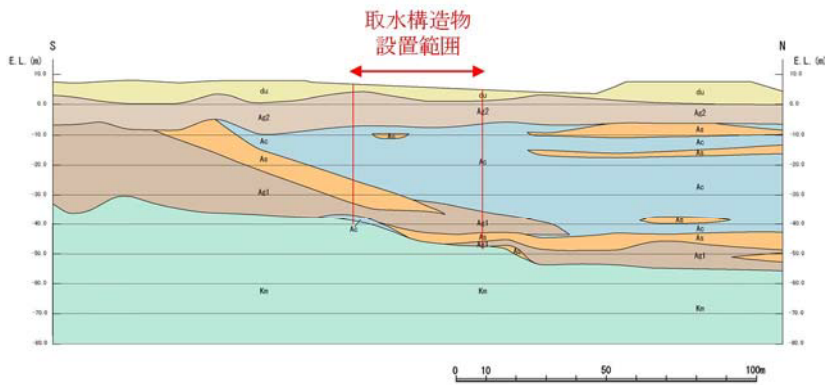
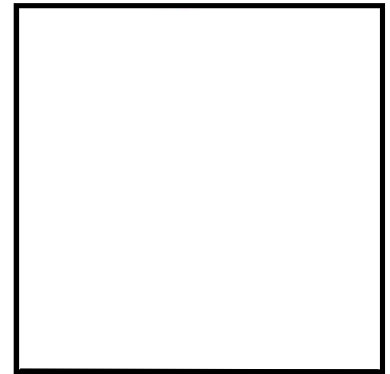


図 1.4.2-7 主要構造区分と耐震評価候補断面位置

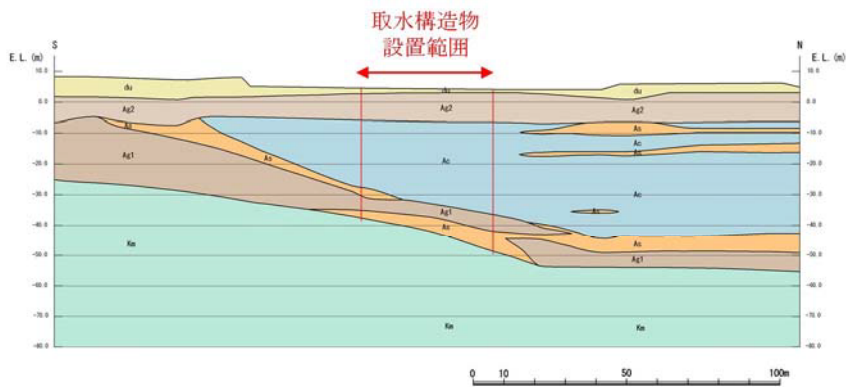


A-A断面図（横断面）

（断面⑤-⑤に対応）

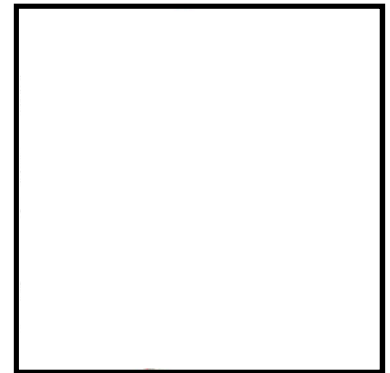


A-A断面の平面位置図

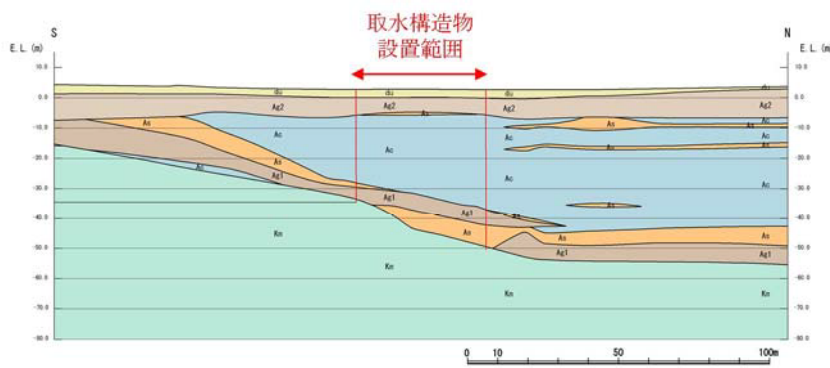


B-B断面図（横断面）

（断面④-④に対応）

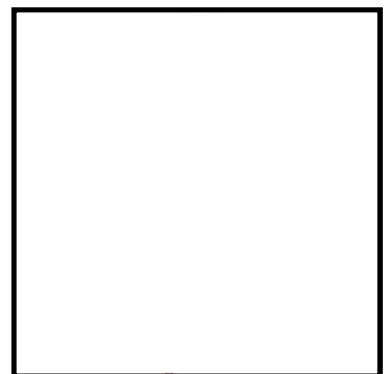


B-B断面の平面位置図



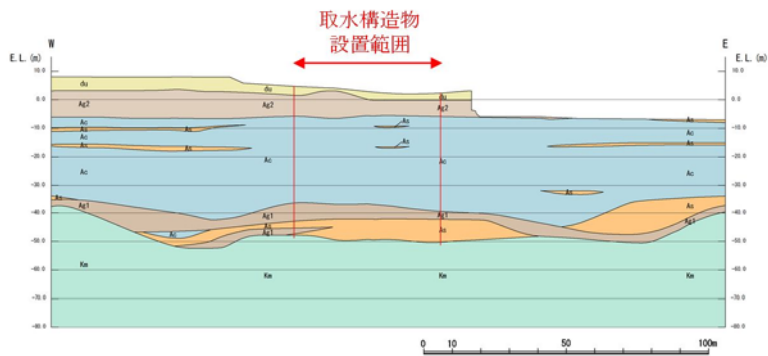
C-C断面図（横断面）

（断面①-①，断面②-②，断面③-③に対応）

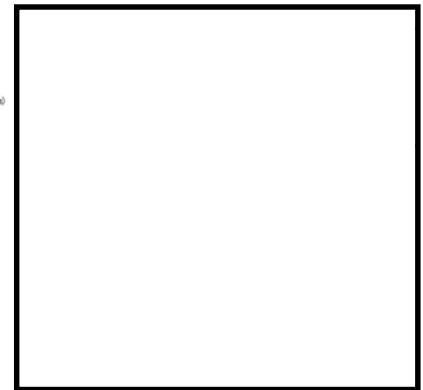


C-C断面の平面位置図

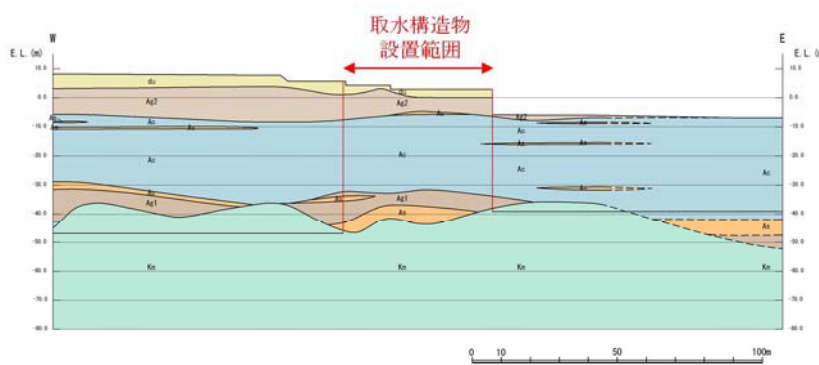
図 1.4.2-8 (1) 取水構造物の周辺地質構造（横断面）



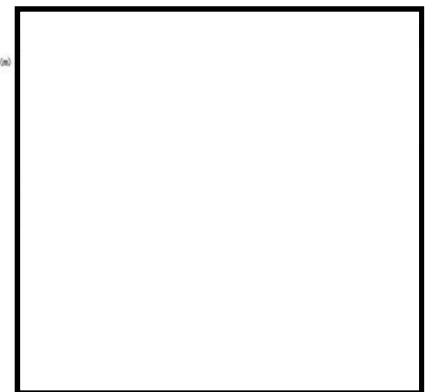
A-A断面図（縦断面）



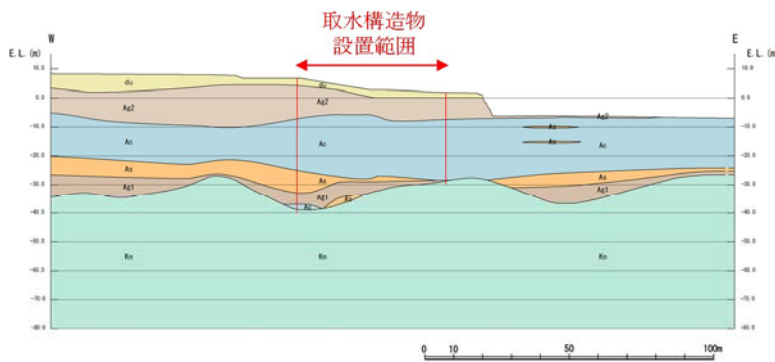
A-A断面の平面位置図



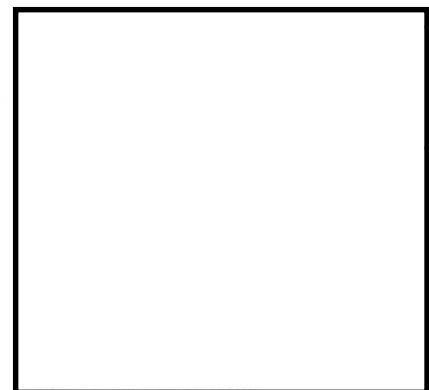
B-B断面図（縦断面）



B-B断面の平面位置図



C-C断面図（縦断面）



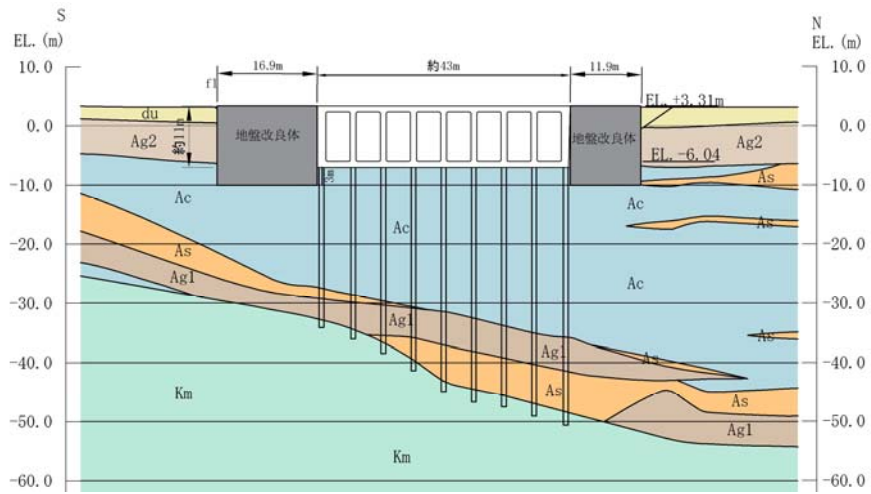
C-C断面の平面位置図

（断面⑥-⑥に対応）

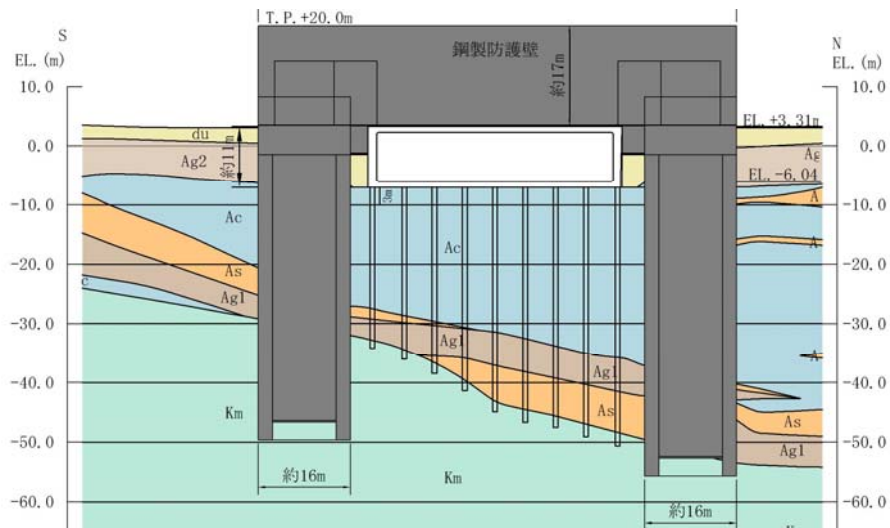
図 1.4.2-8 (2) 取水構造物の周辺地質構造（縦断面）

表 1.4.2-2 取水構造物 耐震評価候補断面の特徴

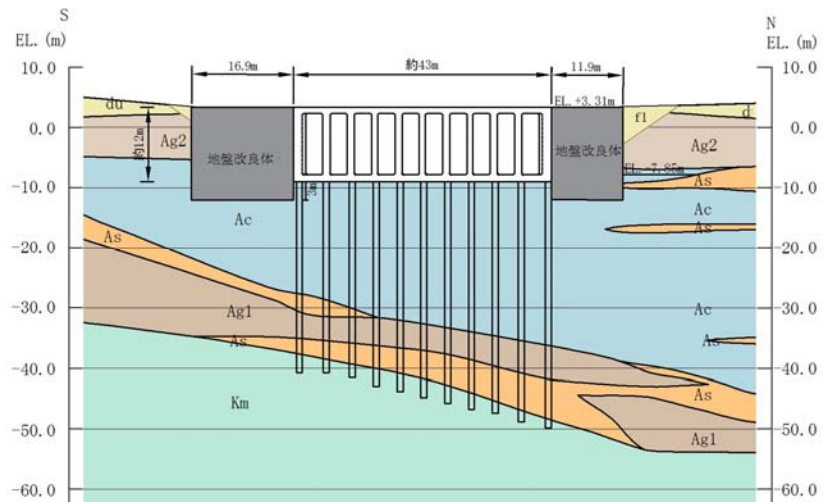
方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備	
					名称	概算重量 (ton)
南北	①-①	間接支持 通水 貯水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 頂版に規則的な開口が存在 8連のボックスカルバート 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 図 1.4.2-8 (1) の C-C 断面参照 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 潮位計 スクリーン 	56.1
	②-②	通水 貯水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 8連と10連ボックスカルバートの境界部 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 図 1.4.2-8 (1) の C-C 断面参照 構造物両側に防潮堤（鋼製防護壁）の地中連壁基礎を設置 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 止水機構 	127.4
	③-③	間接支持 通水 貯水 止水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 10連のボックスカルバート 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 図 1.4.2-8 (1) の C-C 断面参照 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 取水路点検用開口部浸水防止蓋 取水ピット水位計 竜巻等防護設備 	192.2
	④-④	間接支持 通水 貯水 止水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 5連のボックスカルバート 非常用海水ポンプ設置位置 ポンプ設置位置（頂版）に開口が存在 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 図 1.4.2-8 (1) の B-B 断面参照 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 非常用海水ポンプ等 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁 取水ピット空気抜き配管逆止弁 竜巻等防護設備 	1410.5
	⑤-⑤	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 U字型形状 埋込深さが浅い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 図 1.4.2-8 (1) の A-A 断面参照 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 非常用海水配管及びビストレーナ 竜巻等防護設備 	336.0
	⑥-⑥	同上	<ul style="list-style-type: none"> 強軸断面方向 耐震評価上、側壁及び隔壁の効果が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層が概ね水平成層に分布 図 1.4.2-8 (2) を参照 	同上	同上



(①-①断面)

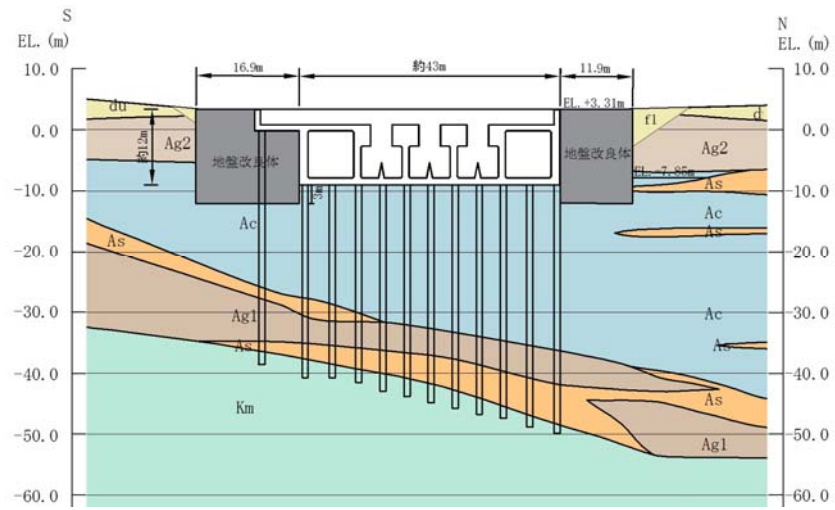


(②-②断面)

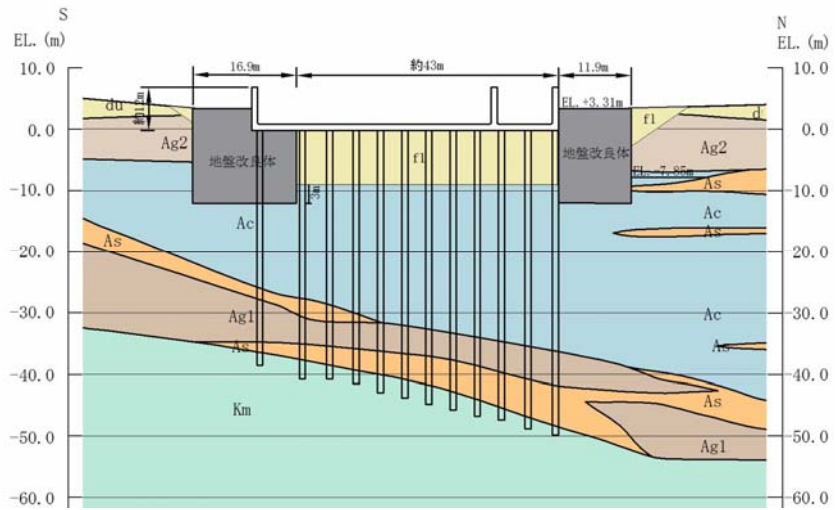


(③-③断面)

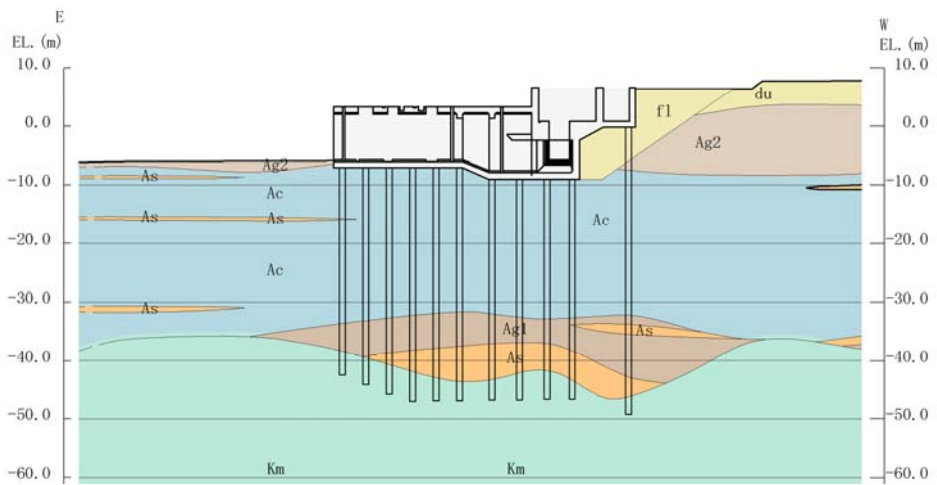
図 1.4.2-9 (1) 評価対象候補断面図 (1/2)



(④-④断面)



(⑤-⑤断面)



(⑥-⑥断面)

図 1.4.2-9 (2) 評価対象候補断面図 (2/2)

①-①断面は8連のボックスカルバートである。岩盤上面が傾斜している。Sクラス設備である潮位計が設置されている。また、頂版には規則的に開口部が設けられている。

②-②断面は取水路における8連と10連ボックスカルバートの境界部である。岩盤上面が傾斜している。防潮堤（鋼製防護壁）との間に設置する止水機構の自重を受ける区間である。本区間の両側には防潮堤（鋼製防護壁）の地中連壁基礎が設置される。

③-③断面は10連のボックスカルバートである。岩盤上面が傾斜している。Sクラス設備である取水路点検用開口部浸水防止蓋、取水ピット水位計が設置されている。

④-④断面は5連のボックスカルバートである。岩盤上面が傾斜している。Sクラス設備である非常用海水ポンプ、海水ポンプグランドドレン排出口逆止弁、取水ピット空気抜き配管逆止弁が設置されている。また、大型ポンプの設置に伴い、頂版に開口が存在している。

⑤-⑤断面はSクラス設備である非常用海水配管及びストレーナが設置されているU字の形状である。岩盤上面が傾斜している。

①-①断面～⑤-⑤断面には、岩盤上に沖積の礫層、砂層、粘土層及び砂丘砂層が概ね同一の地質層序にて堆積しており、いずれの断面でも概ね類似した周辺地質構造となる。

また、①-①断面～⑤-⑤断面における構造物側方地盤に対し、全断面同一の改良範囲にて地盤改良を計画している。

⑥-⑥断面は縦断方向の断面であり、取水路区間と取水ピット区間に分かれている。

取水構造物の縦断方向は、岩盤上面の傾斜方向とほぼ直角を成しており、断面を設定する位置によって、岩盤上面の標高が変化するが、岩盤及び第四紀層は概ね水平成層に分布している。

取水構造物が間接支持する設備や周辺の地質構造も考慮し、耐震安全上最も厳しくなる断面を選定し基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

(2) 評価対象断面の選定

①－①断面は、8連のボックスカルバートであり、取水路における他区間（10連のボックスカルバート）と比較すると相対的に内空の大きい区間である。また、図 1.4.2-5 に示すような頂版部の開口により頂版部の剛性が低減し、Sクラス設備である潮位計が設置される側壁等の耐震裕度が小さくなると想定されることから、①－①断面を評価対象断面とする。

②－②断面は、図 1.4.2-9 に示すように、両側に設置される防潮堤（鋼製防護壁）の地中連壁基礎による変形抑制効果を考慮することで耐震裕度が見込めるため、評価対象断面として採用しない。

③－③断面は、10連のボックスカルバートであり、取水路における他区間（①－①断面）と比較すると隔壁が多く相対的に内空の小さい区間である。③－③断面と①－①断面について、内空の大小を含めた耐震裕度に関連する複数の項目を比較した結果を表 1.4.2-3 に示す。

全ての項目において、①－①断面よりも③－③断面の方が耐震裕度大きいと考えられることから、③－③断面は評価対象断面として採用しない。

表 1.4.2-3 ③-③断面と①-①断面の比較

比較項目	③-③断面	耐震裕度	①-①断面
内空面積（内空幅×内空高さ）	29.0m ²	>	34.2m ²
壁部材の合計せん断断面積 （単位奥行き）	13.2m ²	>	10.0m ²
側壁の主鉄筋 （他の部材の主鉄筋は同等）	（内側） D25@150mm （外側） D29@150mm	>	（内側） D22@150mm （外側） D25@150mm
杭本数*1	11本/列	>	9本/列
変形抑制効果を見込める壁の有無*2	有	>	無

注記 *1：図 1.4.2-10 に取水構造物における鋼管杭の平面配置を示す。

*2：図 1.4.2-11 に③-③断面と変形抑制効果を見込める壁の位置関係を示す。



図 1.4.2-10 取水構造物における鋼管杭の平面配置

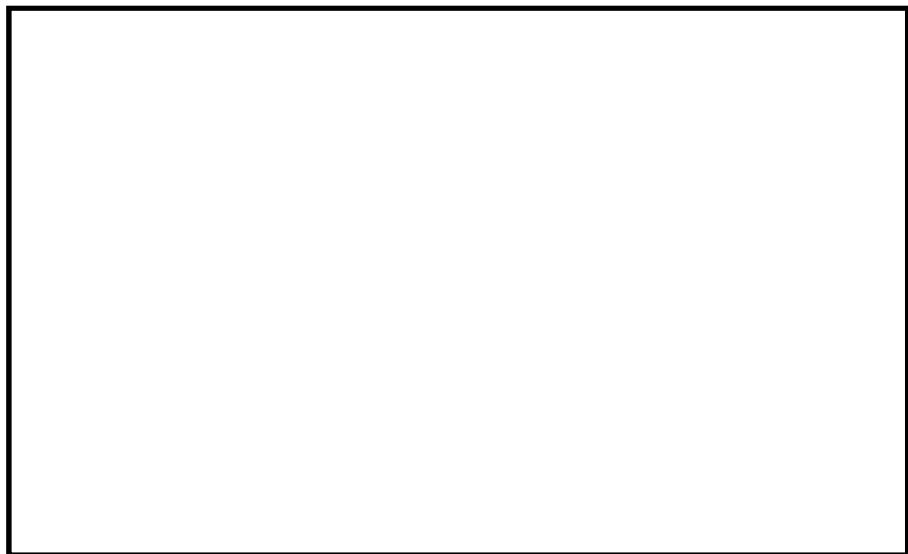


図 1.4.2-11 ③-③断面と変形抑制効果を見込める壁の位置関係

④-④断面は、5連のボックスカルバートであり、取水構造物において内空が最も大きい区間である。また、Sクラス設備である非常用海水ポンプが設置されている断面であり、上載荷重が大きく、さらに頂版部にはポンプ設置に伴う開口が存在する。したがって、他の断面と比較し、耐震裕度が小さくなると想定されることから、④-④断面を評価対象断面とする。

⑤-⑤断面は、非常用海水配管及びストレーナが設置されている断面であり、Sクラス設備の間接支持機能を有する。また、他の断面と比較して埋込深さが浅いことから地震時土圧等の荷重が小さく設定される。したがって、他の断面と比較して耐震裕度が見込めるため、⑤-⑤断面は評価対象断面としない。

ただし、図 1.4.2-12 に示すバルブ室は、非常用海水配管及びストレーナが設置されていることから、これら重要設備への波及影響の観点にて、側壁の耐震評価を実施する。

バルブ室において、加振方向と平行に配置される構造部材が少ないEW方向断面（弱軸方向断面）の部材を評価対象とする。評価対象部材の位置を図 1.4.2-13 に示す。

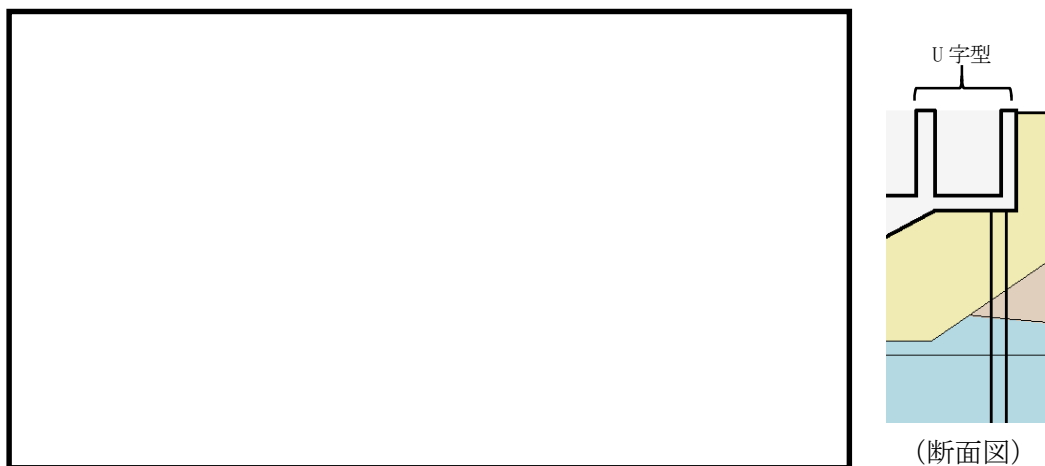


図 1.4.2-12 バルブ室の概略形状及び設備配置

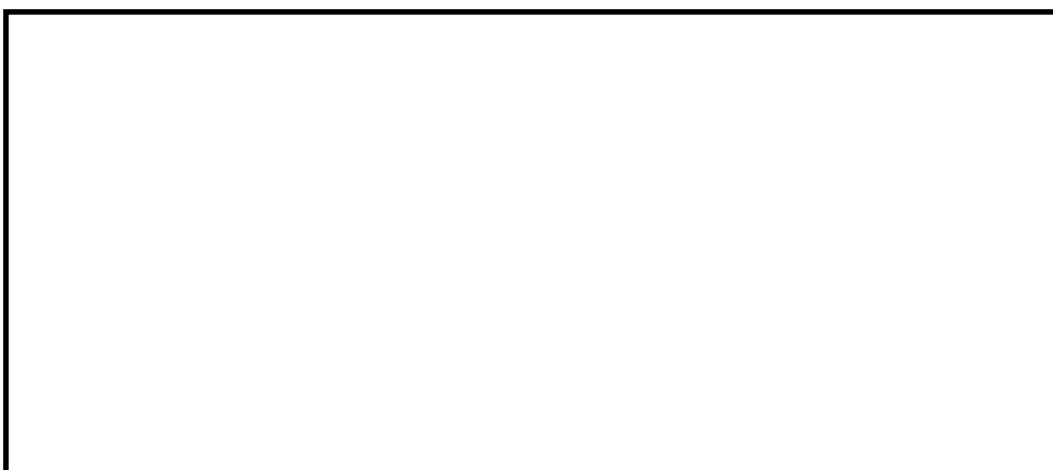


図 1.4.2-13 バルブ室における評価対象部材

⑥-⑥断面は、縦断方向の断面であり、耐震評価上、側壁及び隔壁の変形抑制効果を考慮できるため強軸断面方向となる。一方、横断方向は、耐震評価上、変形抑制効果を考慮できる壁部材が少なく、耐震評価上の弱軸断面方向となる。したがって、⑥-⑥断面は評価対象断面としない。

ただし、機器・配管系への加速度応答の観点から⑥-⑥断面について地震応答解析を実施する。⑥-⑥断面は、岩盤上面の傾斜方向とほぼ直角を成しており、断面を設定する位置によって、岩盤上面の標高が変化する。⑥-⑥断面の地質断面については、図 1.4.2-8 (2) に示す A-A~C-C の計 3 断面において構造物設置位置の中央にて作成した 1 次元地盤モデルによる地震応答解析を実施し、その結果を踏まえて決定する。A-A~C-C の計 3 断面に対応した 1 次元地盤モデルを図 1.4.2-14 に示す。

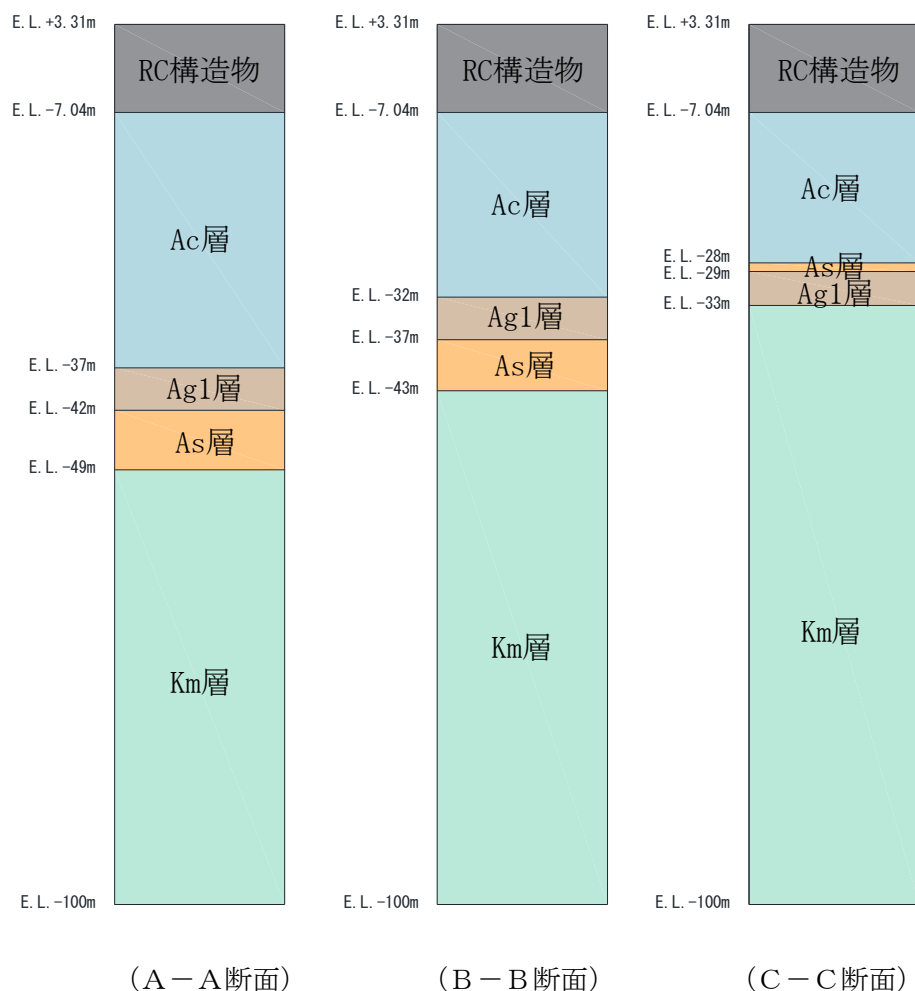


図 1.4.2-14 縦断面選定用の 1 次元地盤モデル

(3) 断面選定結果

a. 取水構造物の耐震性評価対象断面

評価対象断面の選定結果を表 1.4.2-4 に示す。また、評価対象として選定した断面を図 1.4.2-15 に示す。取水構造物の耐震性評価は①-①断面及び④-④断面にて実施する。また、バルブ室の側壁については、別途耐震性評価を実施する。

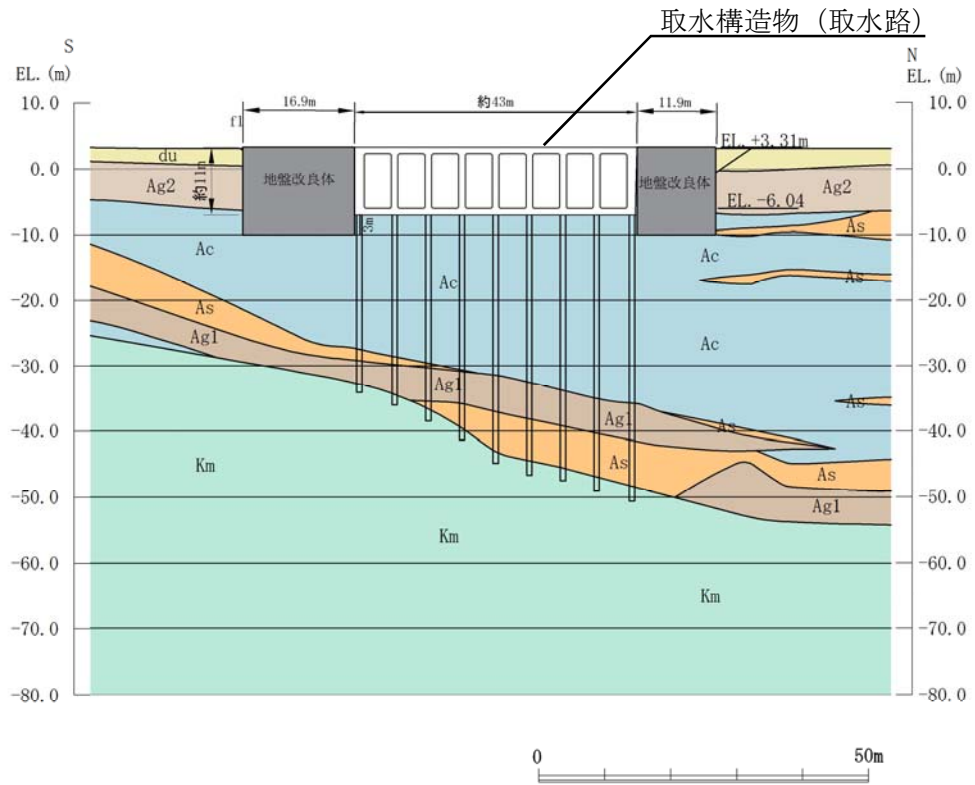
b. 機器・配管系への加速度応答評価対象断面

機器・配管系への加速度応答を算定するため、「a. 取水構造物の耐震性評価対象断面」に加え、縦断方向の断面である⑥-⑥断面の地震応答解析を実施する。⑥-⑥断面の地層構成については、図 1.4.2-16 に示す 1 次元地震応答解析結果(地表面の加速度応答スペクトル)を考慮し決定した。

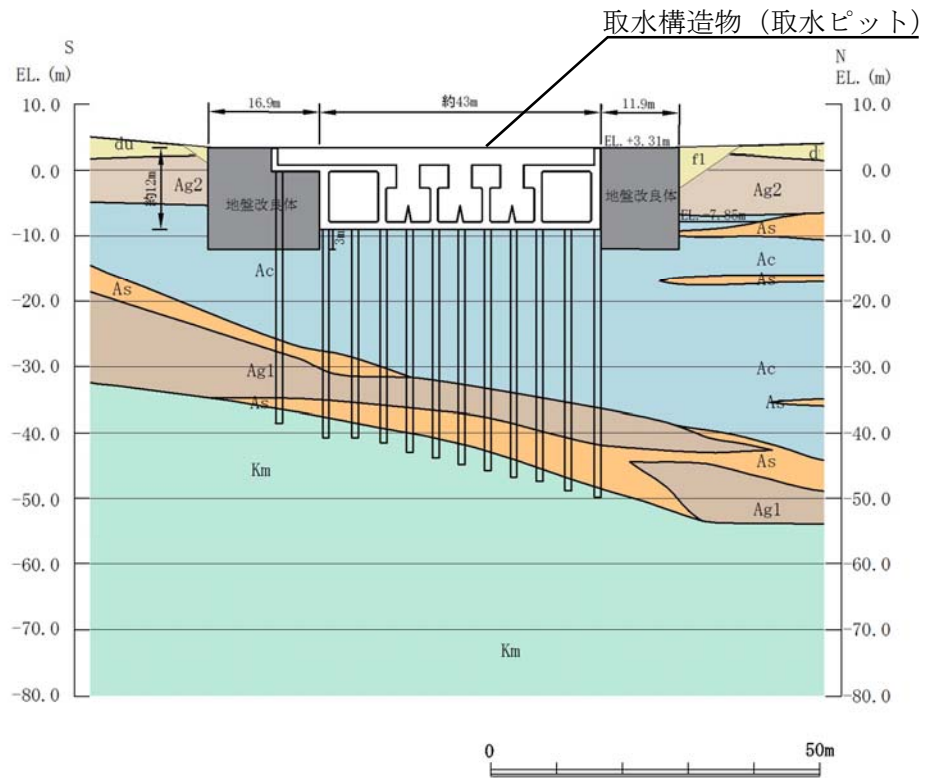
A-A~C-C の計 3 断面において構造物設置位置の中央にて作成した 1 次元地盤モデルによる地震応答解析の結果、地表面の加速度応答スペクトルに有意な差が無いことを確認した。よって、岩盤傾斜部のうち、平均的な中央部の地質断面である B-B を採用する。⑥-⑥断面を図 1.4.2-17 に示す。

表 1.4.2-4 取水構造物 評価対象断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する設備		既工認	今回工認	選定理由
					名称	概算重量 (ton)			
南北	①-①	間接支持 通水 貯水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 頂版に規則的な開口が存在 8連のボックススカルバート 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 潮位計 スクリーン 	56.1	○	他の断面と比較し、構造的に側壁の耐震裕度が小さいと想定されることから、評価対象断面に選定する。	
	②-②	通水 貯水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 8連と10連ボックススカルバートの境界部 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 構造物の側方は地盤改良を行う計画 構造物両側に防潮堤（鋼製防護壁）の地中連壁基礎を設置 	<ul style="list-style-type: none"> 止水機構 	127.4	—	構造物両側に設置される防潮堤（鋼製防護壁）の地中連壁基礎による変形抑制効果等を考慮することで耐震裕度が見込めるため、評価対象断面としない。	
	③-③	間接支持 通水 貯水 止水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 10連のボックススカルバート 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 取水路点検用開口部浸水防止蓋 取水ピット水位計 竜巻等防護設備 	192.2	—	①-①断面と比較し、内空も小さく、耐震裕度が見込めることから評価対象断面としない。	
	④-④	間接支持 通水 貯水 止水	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 5連のボックススカルバート 非常用海水ポンプ設置位置 ポンプ設置位置（頂版）に開口が存在 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 非常用海水ポンプ等 海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁 取水ピット空気抜き配管逆止弁 竜巻等防護設備 	1410.5	○	他の断面と比較し、構造的、荷重条件的に耐震裕度が小さいと想定されることから、評価対象断面に選定する。	
	⑤-⑤	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> 弱軸断面方向 U字型形状 埋込深さが浅い 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤上面が傾斜 構造物の側方は地盤改良を行う計画 	<ul style="list-style-type: none"> 非常用海水配管及びピストレーナ 竜巻等防護設備 	336.0	—	他の断面と比較し、荷重条件的に耐震裕度が見込めるため、評価対象断面としな い。ただし、バルブ室の側壁について、別添耐震評価を実施する。	
	⑥-⑥	同上	<ul style="list-style-type: none"> 強軸断面方向 耐震評価上、側壁及び隔壁の効果が見込める 	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤及び第四紀層が概ね水平成層に分布 	同上	同上	同上	—	強軸断面方向であることから評価対象断面としないが、機器・配管系への加速度応答の観点より、地震応答解析の実施対象断面とする。



①-①断面図 (取水路)



④-④断面図 (取水ピット)

図 1.4.2-15 取水構造物の評価対象断面図

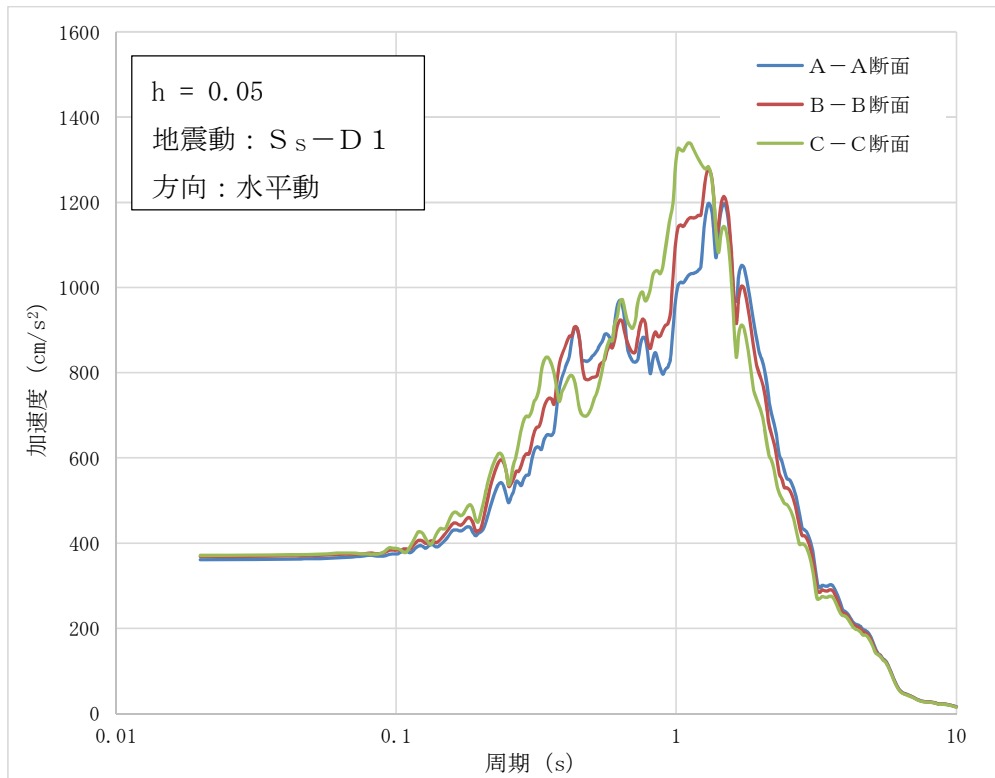
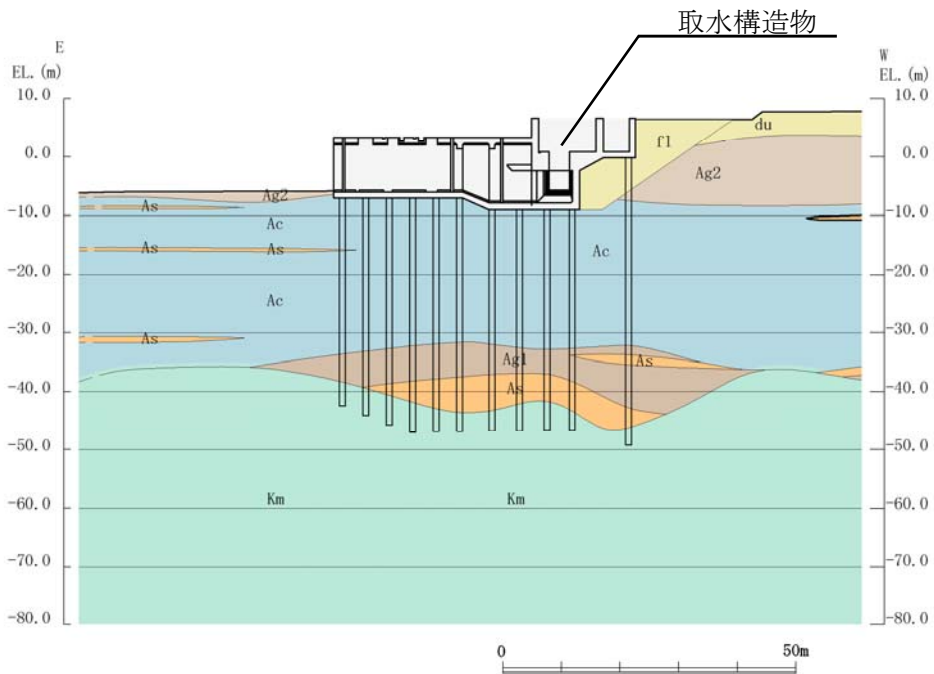


図 1.4.2-16 1次元地震応答解析結果



⑥-⑥断面図

図 1.4.2-17 取水構造物の評価対象断面図（縦断面）

2. 取水構造物の耐震安全性評価

目次

2.	取水構造物の耐震安全性評価	1
2.1	評価方法	2
2.2	評価条件	2
2.2.1	適用基準	2
2.2.2	耐震安全性評価フロー	3
2.2.3	評価対象断面の方向	4
2.2.4	評価対象断面の選定	7
2.2.5	使用材料及び材料定数	10
2.2.6	評価構造物諸元	14
2.2.7	地下水位	15
2.2.8	地震応答解析手法	15
2.2.9	解析モデルの設定	16
2.2.10	減衰定数	32
2.2.11	荷重の組合せ	35
2.2.12	地震応答解析の検討ケース	47
2.3	評価内容	49
2.3.1	入力地震動の設定	49
2.3.2	許容限界の設定	78
2.4	評価結果（追而）	86
2.5	まとめ（追而）	86

2.1 評価方法

取水構造物は、Sクラス設備である非常用海水ポンプ、取水路点検用開口部浸水防止蓋、海水ポンプグラウンドドレン排出口逆止弁、取水ピット空気抜き配管逆止弁、潮位計、取水ピット水位計等を間接支持する機能を求められる土木構造物である。また、取水構造物は非常用取水設備であり、通水性能及び貯水性能が要求されることに加え、浸水防止設備を間接支持する頂版においては止水機能を要求される。取水構造物について基準地震動 S_s による耐震安全性評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び地盤の支持性能評価を実施する。

構造部材の曲げ、せん断評価については地震応答解析に基づく発生応力又は発生せん断力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく接地圧が許容限界以下であることを確認する。

2.2 評価条件

2.2.1 適用基準

取水構造物の耐震評価にあたっては、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社)日本電気協会)、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社)土木学会, 2002年制定) を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル ((社)土木学会, 2005年) (以下、「土木学会マニュアル」という。) を適用する。また、鋼管杭の曲げ及びせん断の許容限界については、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 J E A C 4 6 1 6 - 2009 ((社)日本電気協会)、鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] ((社)土木学会, 2008年制定) を適用する。

表 2.2-1 に適用する規格、基準類を示す。

表 2.2-1 適用する規格、基準類

項目	適用する規格、基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002年制定)	—
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (2002年制定)	・永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容限界	【鉄筋コンクリート部材】 ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (2005年)	・曲げに対する照査は、全塑性モーメントに相当する限界曲率を設定した上で、発生曲率が限界曲率*を下回ることを確認する。 ・せん断に対する照査は、発生せん断力がせん断耐力*を下回ることを確認する。
	【鋼管杭】 ・J E A C 4 6 1 6 - 2009 ・鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] (2008年制定)	
地震応答解析	・J E A G 4 6 0 1 - 1987	・有限要素法による2次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

注記 * : 妥当な安全余裕を考慮する。

2.2.2 耐震安全性評価フロー

図 2.2-1 に取水構造物の耐震安全性評価フローを示す。

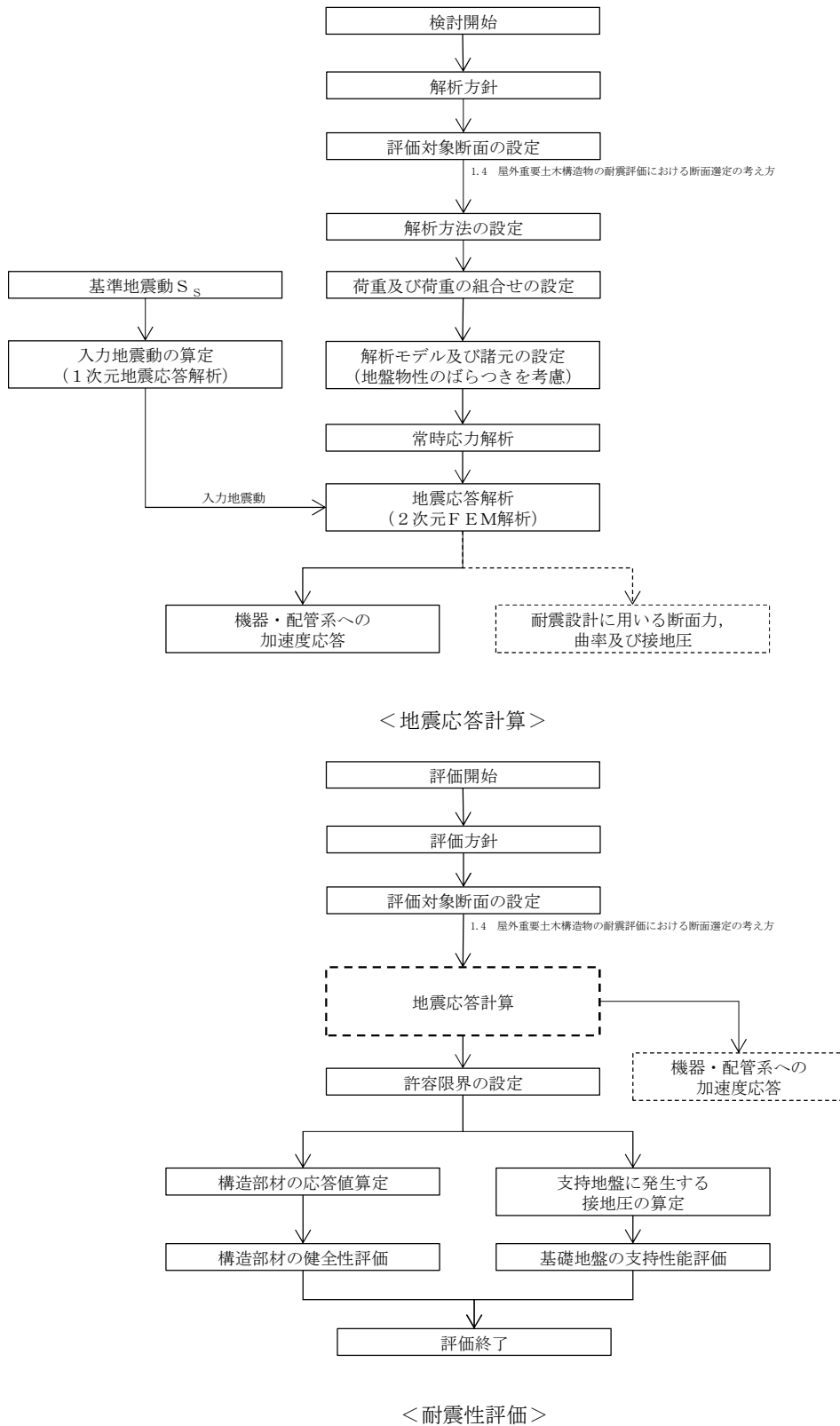


図 2.2-1 取水構造物の耐震安全性評価フロー

2.2.3 評価対象断面の方向

取水構造物の位置を図 2.2-2 に示す。

取水構造物は、延長約 57 m、幅約 43 m、高さ約 12m の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。取水構造物においては、縦断方向（通水方向）は、加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸断面方向となる。一方、横断方向（通水方向に対し直交する方向）は、通水機能を確保するため、加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから、弱軸断面方向となる。評価対象断面の方向の選定に係る考え方を表 2.2-2 に示す。

以上のことから、取水構造物の耐震評価では、構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である横断方向を評価対象断面の方向とする。

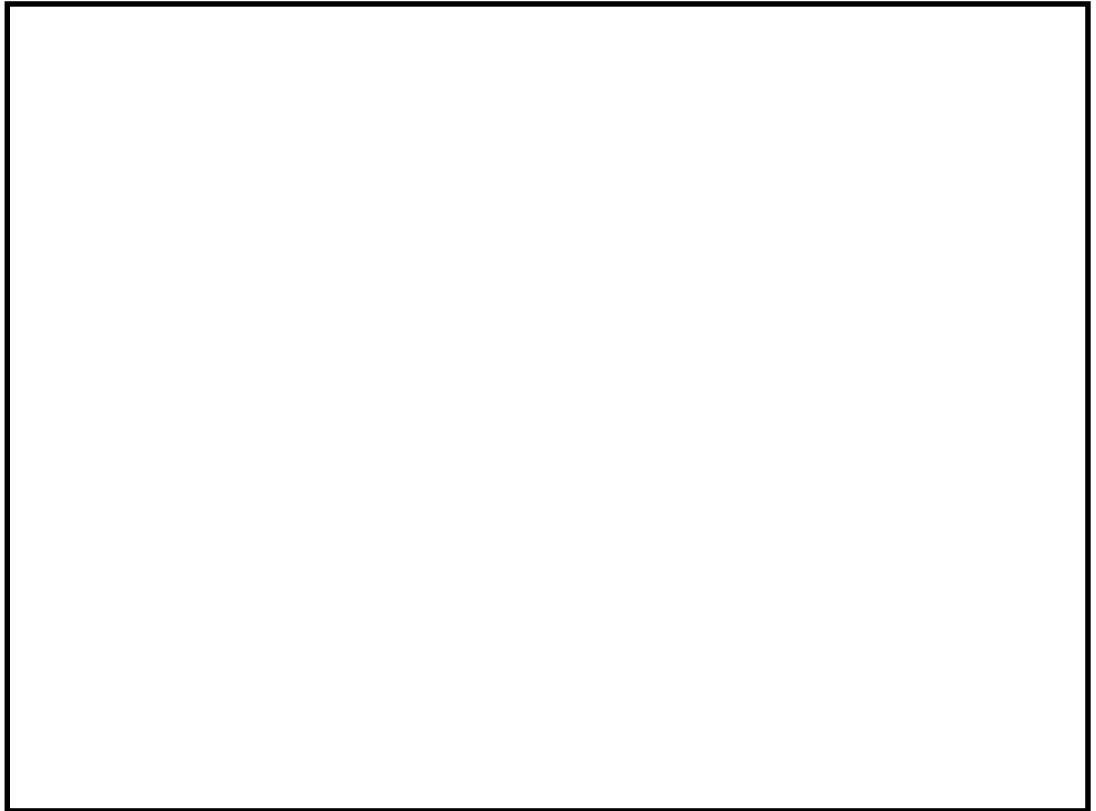


図 2.2-2 (1) 取水構造物の平面配置図 (全体平面図)



図 2.2-2 (2) 取水構造物の平面配置図 (拡大図)

表 2.2-2 取水構造物の評価対象断面の方向の選定



2.2.4 評価対象断面の選定

図 2.2-3 に取水構造物の平面図及び縦断図を、図 2.2-4 に取水構造物の断面図を示す。

取水構造物は、延長約 57 m、幅約 43 m、高さ約 12m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。取水方向に対して複数の断面形状を示すが、構造的には多連ボックスカルバート状のラーメン構造である。

評価対象断面は、「1.4.2 取水構造物の断面選定の考え方」で記載したとおり、構造物の内空寸法や上載荷重等の観点で比較的耐震裕度が小さく、構造的にも弱軸断面方向となる①-①断面及び④-④断面を代表として耐震評価を実施する。

なお、構造的に強軸断面方向である⑥-⑥断面についても、設備の床応答算定の観点から地震応答解析を実施する。

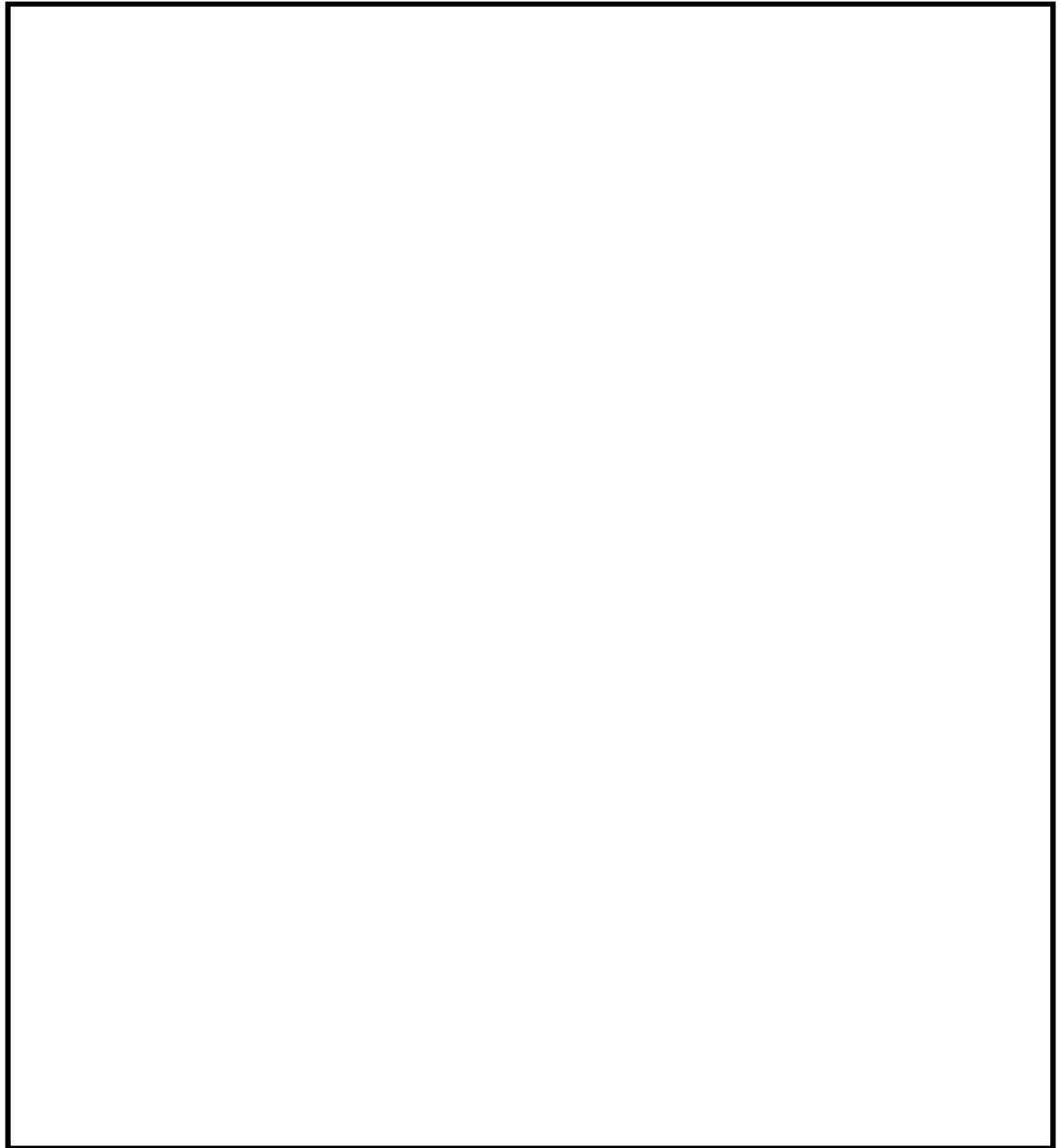


図 2.2-3 取水構造物の平面図及び縦断図



図 2.2-4 (1) 取水構造物の断面図 (①-①断面)



図 2.2-4 (2) 取水構造物の断面図 (④-④断面)

2.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、設計図書及び適用基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 2.2-3 に、材料物性値を表 2.2-4 に示す。

地盤の諸元は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデル化とする。地盤の物性値を表 2.2-5 に、地盤改良体の物性値を表 2.2-6 に示す。

表 2.2-3 使用材料

諸元	
鉄筋	SD30 (SD295 相当)
コンクリート	設計基準強度 20.6 N/mm ²
鋼管杭	STK41 (STK400 相当)

表 2.2-4 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	24 ^{*1}	2.59×10 ⁴ ^{*1}	0.2 ^{*1}	1 ^{*2} (非線形) 5 ^{*3} (線形)
鋼管杭	77 ^{*4}	2.00×10 ⁵ ^{*4}	0.3 ^{*4}	3 ^{*5}

注記 *1：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)

*2：解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となることから、解析上の安定のためなるべく小さい値として 1% を採用している。

*3：J E A G 4 6 0 1 -1987

*4：道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

*5：道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

表 2.2-5 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系 (液状化検討対象層)							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

表 2.2-5 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤				
				第四系 (非液状化層)				新第三系
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1	Km
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223	
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186	
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026	$0.358-0.00603 \cdot z$
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$

z : 標高 (m)

表 2.2-6 地盤改良体の物性値一覧

項目		地盤改良体 (セメント改良)	
		一軸圧縮強度 (≤8.5N/mm ² の場合)	一軸圧縮強度 (>8.5N/mm ² の場合)
物理特性	密度 ρ_t (g/cm ³)	改良対象の原地盤の平均密度×1.1	
静的変形特性	静弾性係数 (N/mm ²)	581	2159
	静ポアソン比 ν_s	0.260	
動的変形特性	初期せん断剛性 G_0 (N/mm ²)	$G_0 = \rho_t / 1000 \times V_s^2$ $V_s = 147.6 \times q_u^{0.417}$ (m/s) q_u : 一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
	動ポアソン比 ν_d	0.431	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
	減衰定数 $h \sim \gamma$	$h = 0.152 \frac{\gamma / 0.000537}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$h = 0.178 \frac{\gamma / 0.001560}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
強度特性	粘着力 C (N/mm ²)	$C = q_u / 2$ q_u : 一軸圧縮強度 (N/mm ²)	

2.2.6 評価構造物諸元

照査を行う取水構造物の評価構造物諸元を表 2.2-7 に示す。

表 2.2-7 評価部位とその仕様



(追而)



(追而)

図 2.2-5 評価部位

2.2.7 地下水位

地下水位は地表面として設定する。

2.2.8 地震応答解析手法

取水構造物の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、基準地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。部材については、はり要素及び平面ひずみ要素を用いることとするが、非線形特性についてはコンクリートのM- ϕ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。地震応答解析については、解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、V-5-10「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図2.2-6に示す。

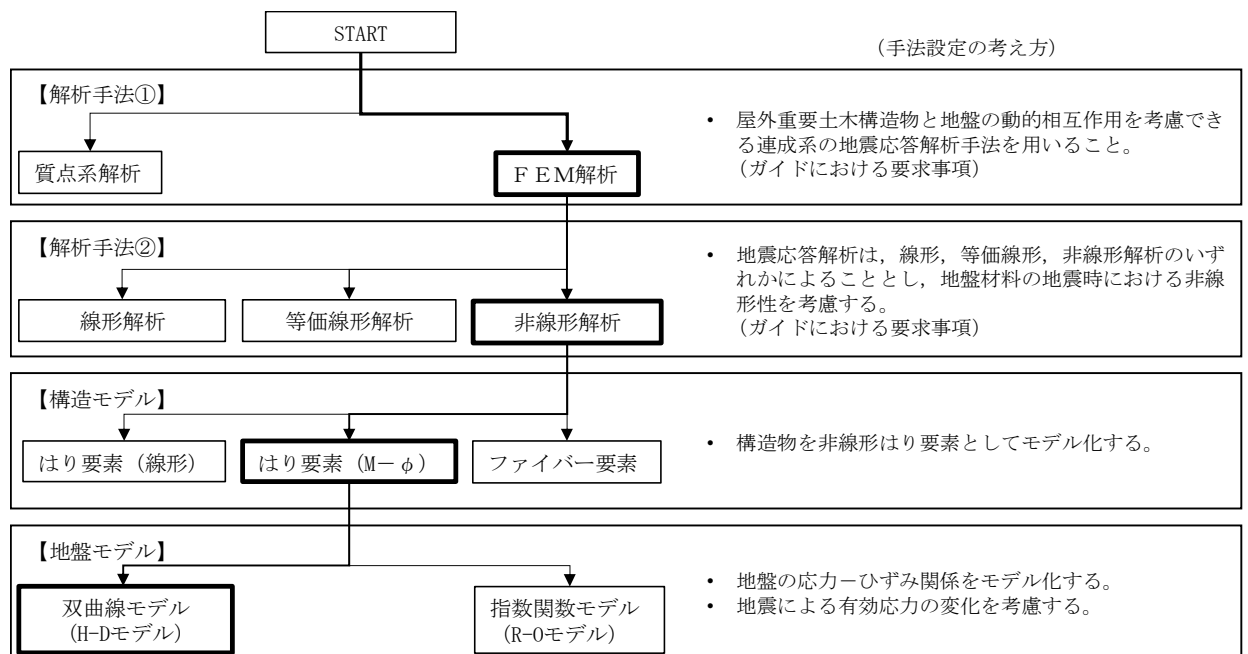


図 2.2-6 地震応答解析手法の選定フロー

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。

一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル

(H-D モデル) を選定する。

2.2.9 解析モデルの設定

(1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、J E A G 4 6 0 1 -1987 を適用し、図 2.2-7 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、モデル高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。

取水構造物周辺の地質断面図を図 2.2-8 に示す。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20Hz で算定される波長の 5 または 4 分割を考慮し、要素高さを 1m 程度まで細分化して設定する。

取水構造物の地震応答解析モデルを図 2.2-9 に示す。

なお、①-①断面と④-④断面は近接しており、周辺地質構造も概ね同じであることから、これらの地震応答解析モデルにおいては、④-④断面の地層構成を共通で使用する。

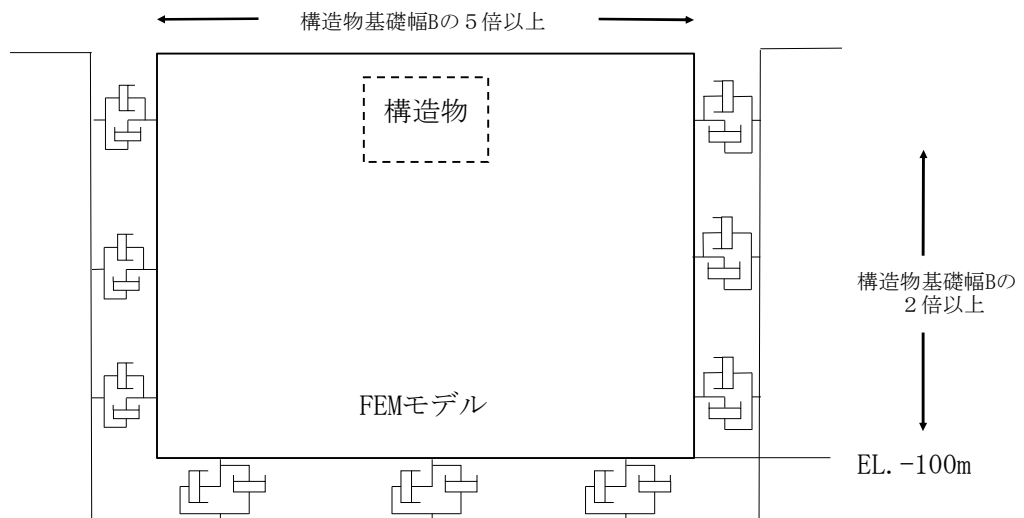


図 2.2-7 モデル範囲の考え方

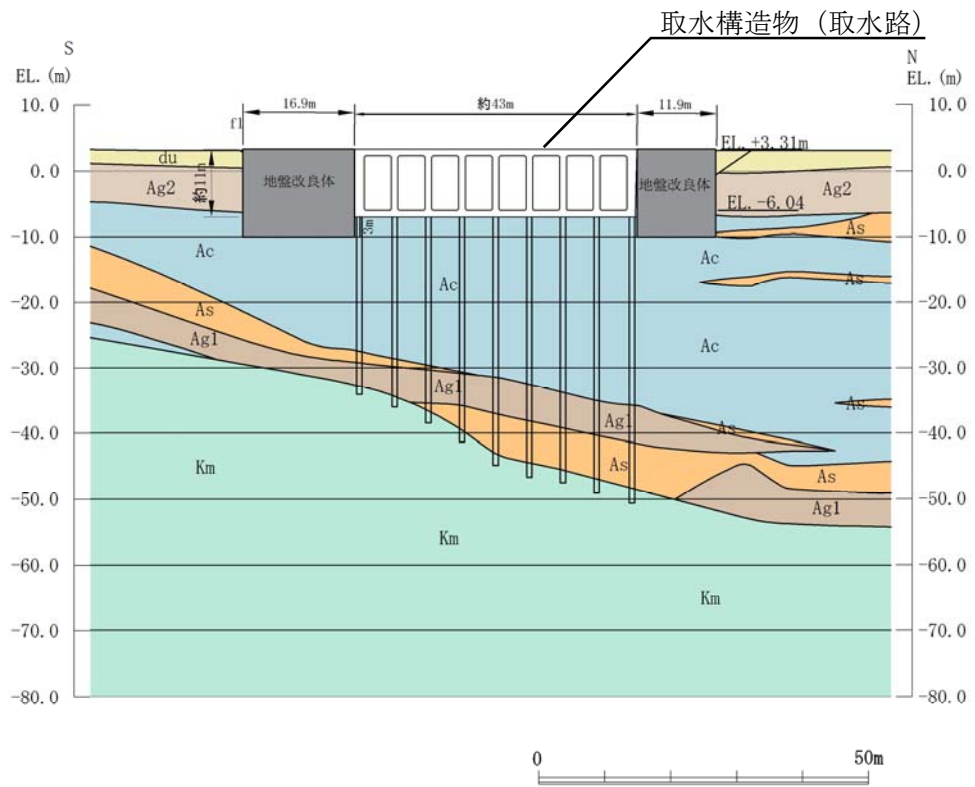


図 2.2-8 (1) 地質断面図 (①-①断面)

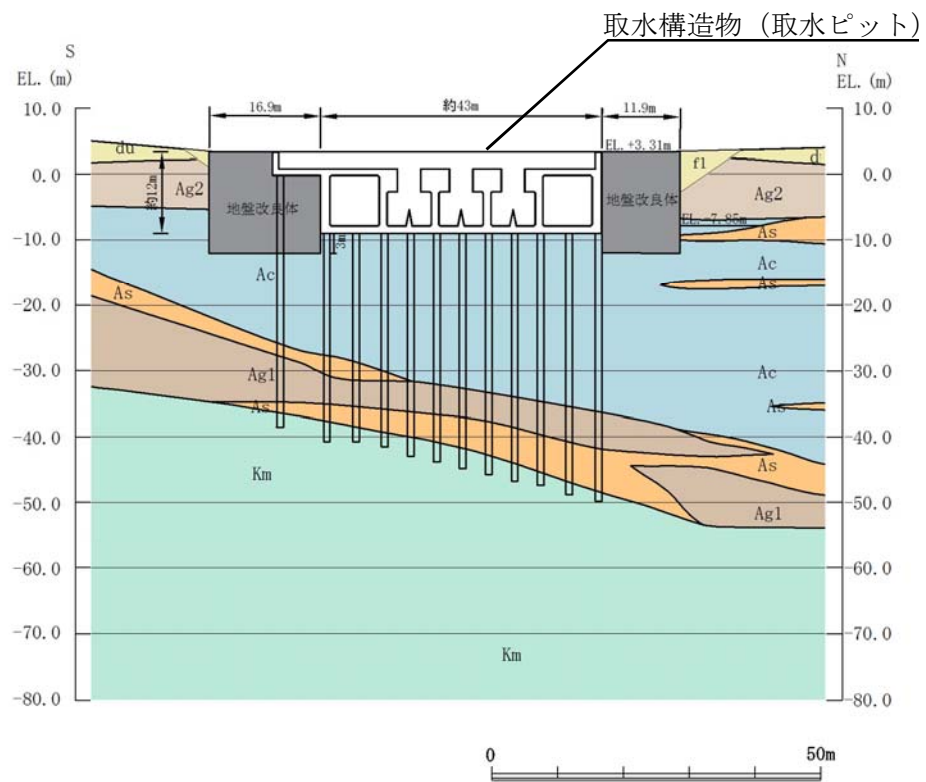


図 2.2-8 (2) 地質断面図 (④-④断面)

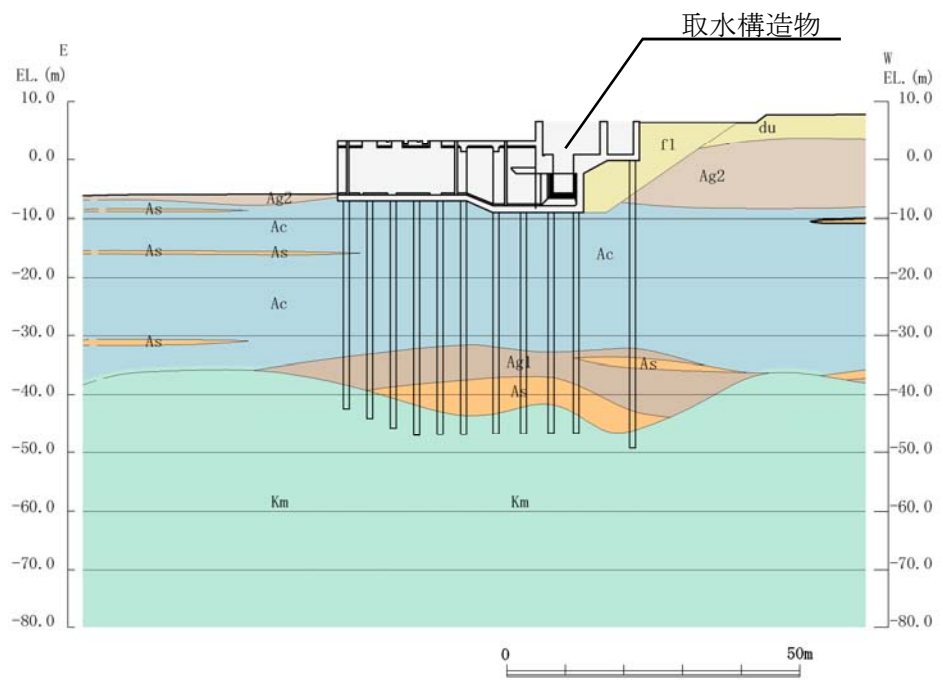


图 2.2-8 (3) 地質断面図 (⑥-⑥断面)

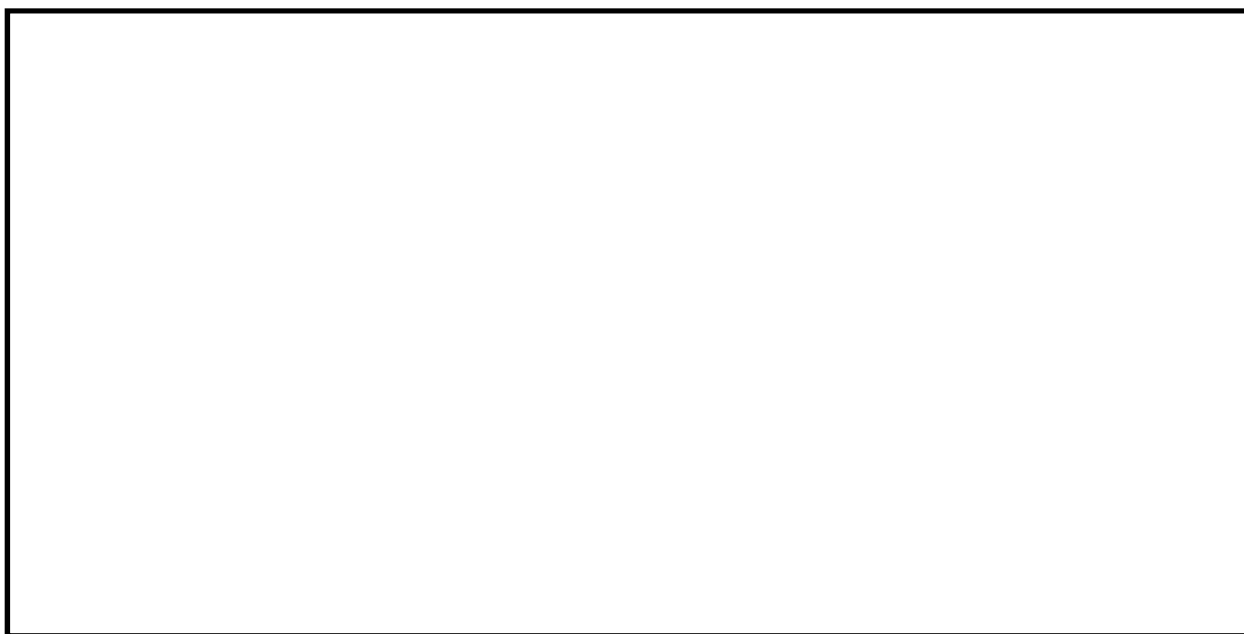


図 2.2-9 (1) 取水構造物の地震応答解析モデル (①-①断面)



図 2.2-9 (2) 取水構造物の地震応答解析モデル (④-④断面)

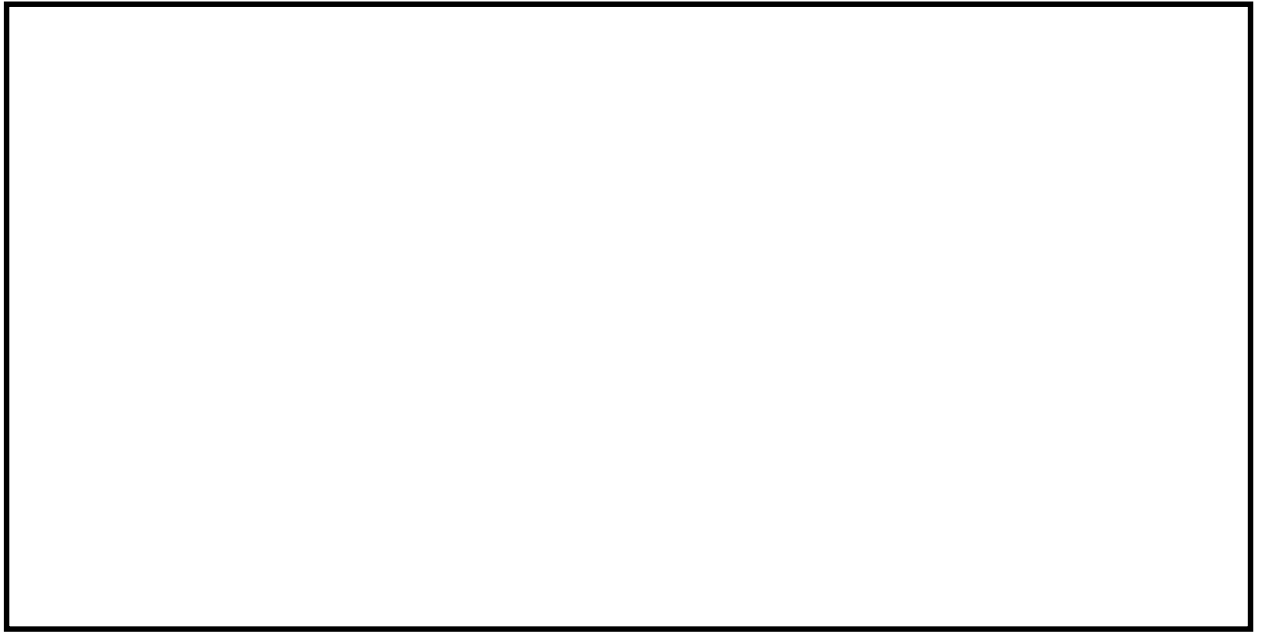


図 2.2-9 (3) 取水構造物の地震応答解析モデル (⑥-⑥断面)

(2) 構造物のモデル化

取水構造物の横断面である①－①断面及び④－④断面では，構造部材として，鉄筋コンクリート部材である側壁，隔壁，底板，頂版及び鋼管杭を非線形はり要素でモデル化する。

それぞれの非線形はり要素の交点には，土木学会マニュアルに従い剛域を設ける。

取水構造物の横断面である①－①断面及び④－④断面の解析モデルにおける，構造物部分の拡大図を図 2.2-10 に示す。

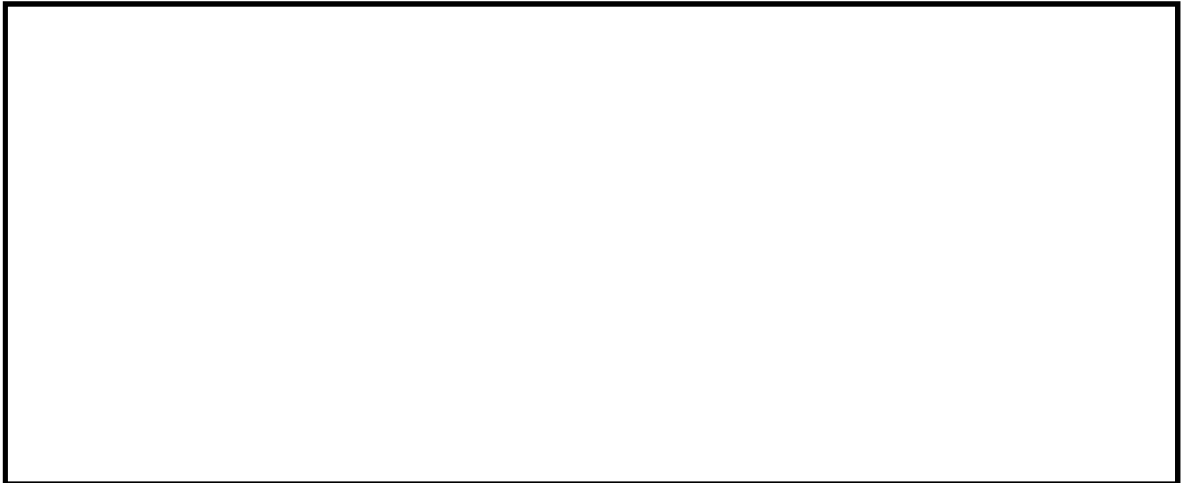


図 2.2-10 (1) 取水構造物の解析モデル（構造物部分拡大部，①－①断面）

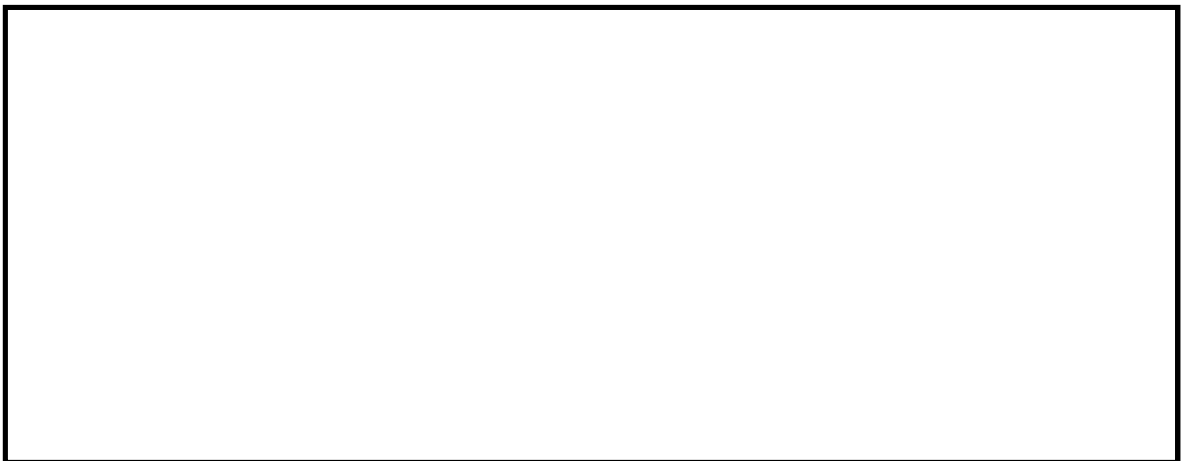


図 2.2-10 (2) 取水構造物の解析モデル（構造物部分拡大部，④－④断面）

取水構造物の頂版には設備を設置するための開口が存在する。構造物のモデル化においては，開口部分の「開口率」を算定し，これに乗じることで，等価な剛性及び重量にて部材をモデル化する。各部材における「開口率」の考え方を図 2.2-11 に示す。

$$\text{開口率} = \frac{\text{構造物の奥行き(m)} - \text{開口幅(m)}}{\text{構造物の奥行き(m)}}$$

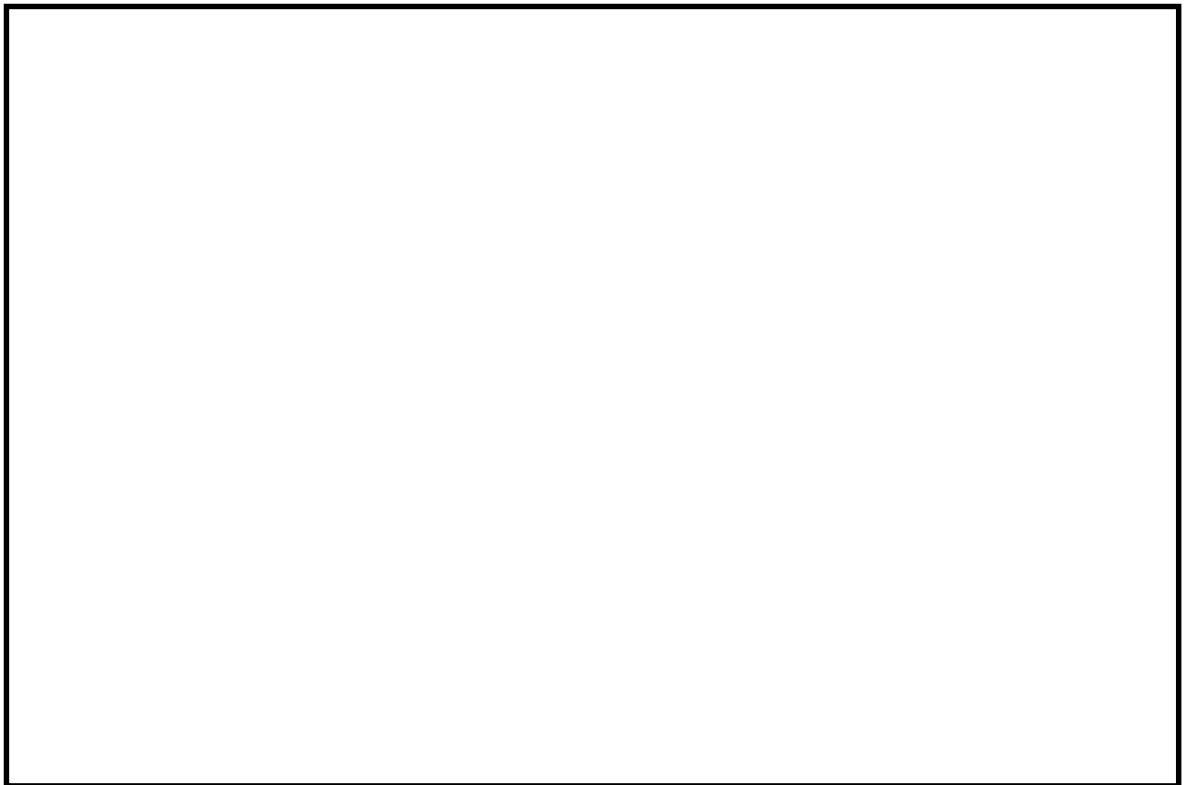


図 2.2-11 (1) 開口率の考え方 (①-①断面)



図 2.2-11 (2) 開口率の考え方 (④-④断面)

取水構造物の縦断面である⑥-⑥断面は、構造部材として鉄筋コンクリート部材である側壁、底板、頂版及び鋼管杭を線形はり要素で、耐震壁の効果을期待する側壁及び隔壁を平面ひずみ要素でモデル化する。

取水構造物の縦断面には、断面方向と平行な壁部材（側壁及び隔壁）が密に配置されることから、縦断面は、これら壁部材の耐震壁としての効果を期待できる構造的な強軸断面方向である。したがって、線形はり要素間の中空部については、壁部材の剛性を反映した平面ひずみ要素を配置する。具体的には、図 2.2-12 に示す通り、壁部材の全部材厚を全奥行き幅で薄めた等価剛性を持つ平面ひずみ要素を設定する。なお、解析モデル上、線形はり要素は平面ひずみ要素と節点を共有しており、十分に剛であることから、線形はり要素の交点には剛域を設けない。

取水構造物の縦断面である⑥-⑥断面の解析モデルにおける、構造物部分の拡大図を図 2.2-13 に示す。

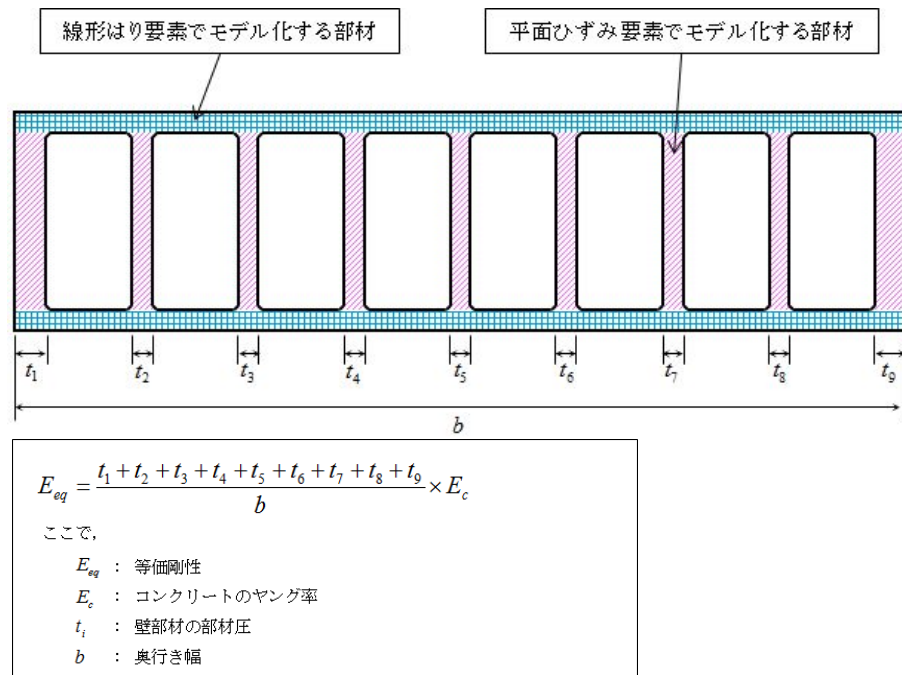


図 2.2-12 平面ひずみ要素の剛性設定の考え方

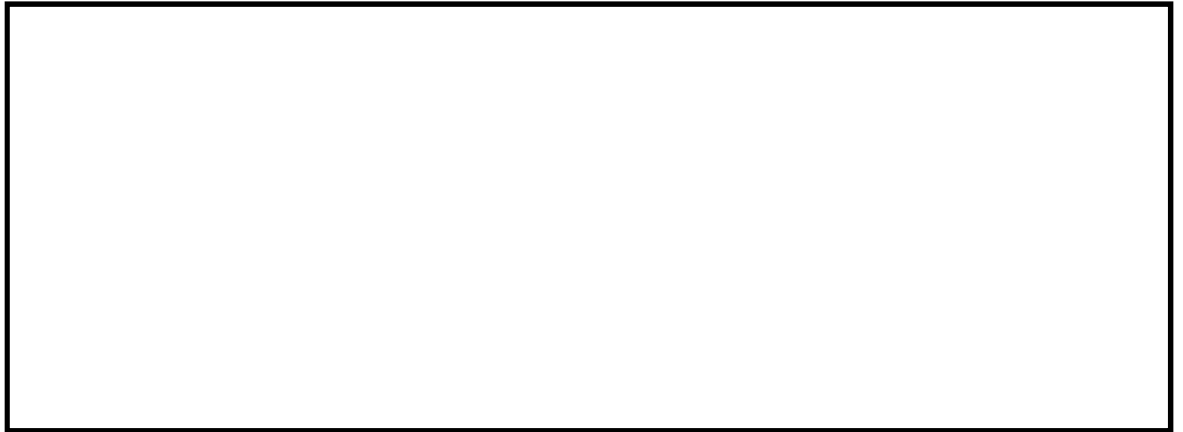


図 2.2-13 取水構造物の解析モデル（構造物部分拡大部，⑥-⑥断面）

構造物の要素分割は，土木学会マニュアルより，断面厚さまたは有効高さの約 1.0 倍程度とする。

(3) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより、強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断応荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図 2.2-14 に、ジョイント要素の考え方を示す。

なお、せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。c、 ϕ は周辺地盤の c、 ϕ とする。(表 2.2-8 参照)

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

- τ_f : せん断強度
- c : 粘着力
- ϕ : 内部摩擦角

表 2.2-8 周辺地盤及び隣接構造物との境界に用いる強度特性

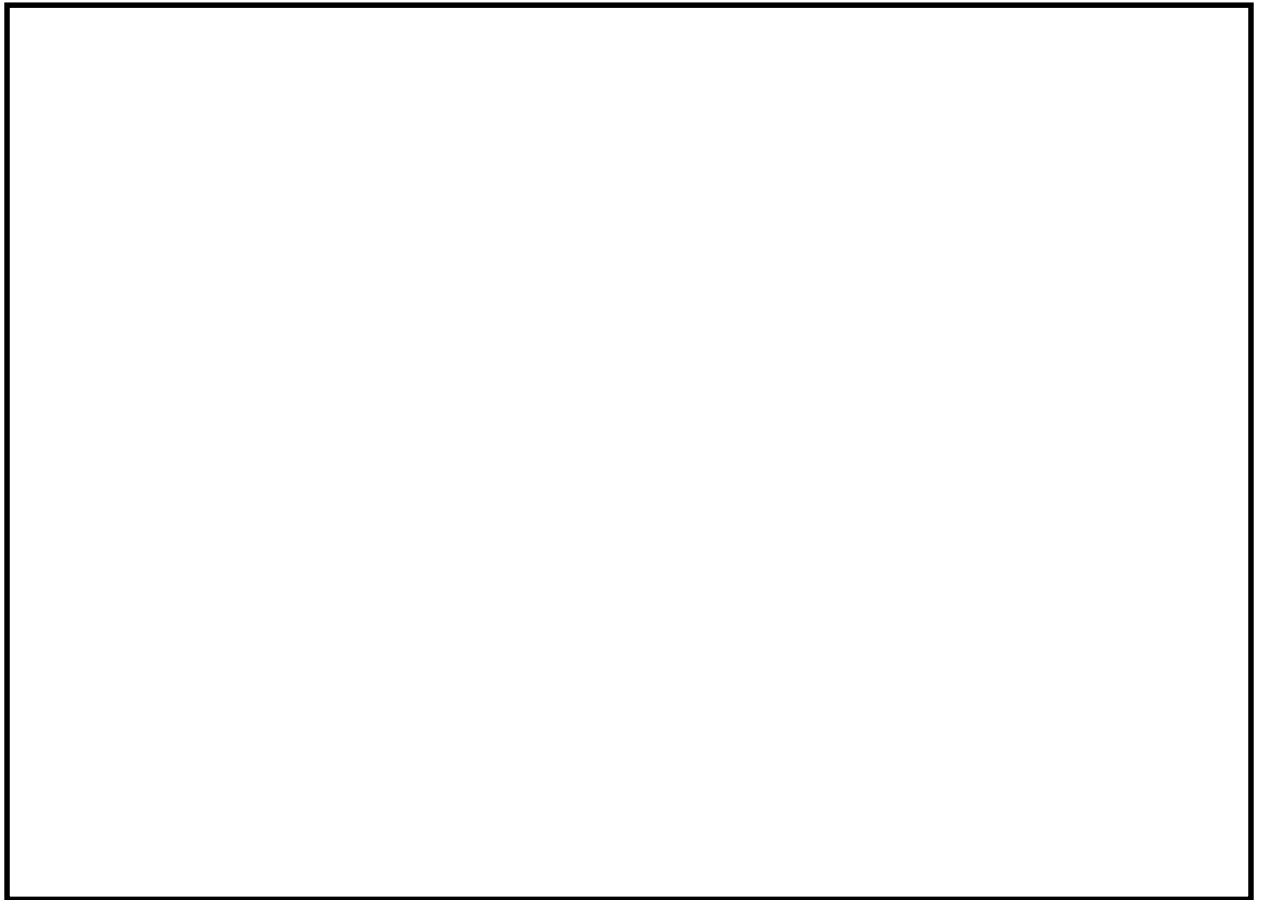
周辺の状況		粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦角 (度)	備考
第四紀層	f1 層	0	37.3	—
	du 層	0	37.3	—
	Ag2 層	0	37.4	—
	As 層	0.012	41.0	—
	Ac 層	0.025	29.1	—
	Ag1 層	0	37.4	—
新第三系	Km 層	$c = 0.358 - 0.00603 \cdot z$	$\phi = 23.2 + 0.0990 \cdot z$	—

z : 標高 (m)

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター)に従い、表 2.2-9 の通り設定する。図 2.2-9 にジョイント要素設定の考え方を示す。

表 2.2-9 ジョイント要素のばね定数

	せん断剛性 k_s (kN/m ³)	圧縮剛性 k_n (kN/m ³)
側方及び底面	1.0×10^6	1.0×10^6



— : ジョイント要素

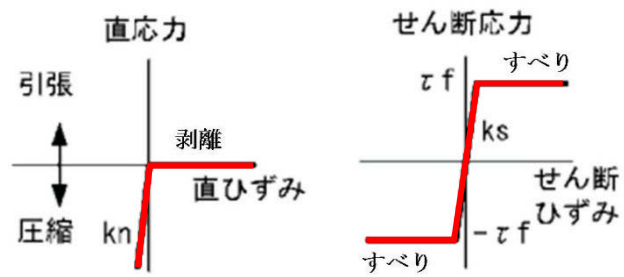


図 2.2-14 ジョイント要素の考え方

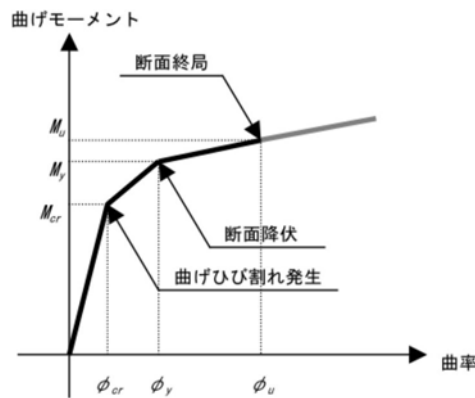
(4) 材料特性の設定

①-①断面及び④-④断面について、鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭は非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋について、それぞれの非線形性を考慮する。材料の非線形特性は「コンクリート標準示方書」に準拠し設定する。

部材の非線形特性は以下のとおりである。

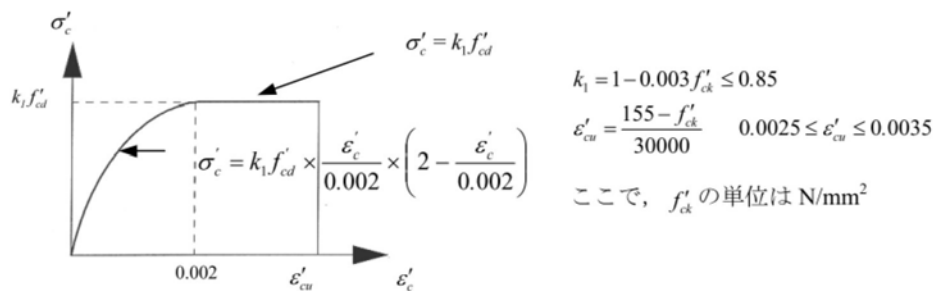
図 2.2-15 (土木学会マニュアル) に、鉄筋コンクリート部材における M-φ 関係のトリリニアモデルを示す。また、コンクリート及び鉄筋の非線形特性を図 2.2-16 及び図 2.2-17 に示す。なお、復元力特性として修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。



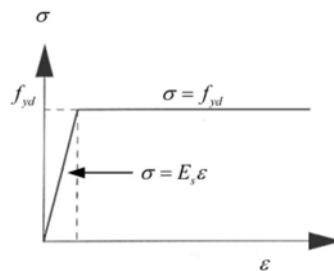
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル ((社) 土木学会 2005 年) より引用)

図 2.2-15 M-φ 関係のトリリニアモデル (鉄筋コンクリート部材)



(コンクリート標準示方書[設計編] ((社) 土木学会 2007 年制定) より引用)

図 2.2-16 コンクリートの応力-ひずみ曲線



(コンクリート標準示方書[設計編] ((社) 土木学会 2007 年制定) より引用)

図 2.2-17 鉄筋の応力-ひずみ曲線

図 2.2-18 に、鋼管杭における $M-\phi$ 関係のバイリニアモデルを示す。また、鋼材の非線形特性を図 2.2-19 に示す。

有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。

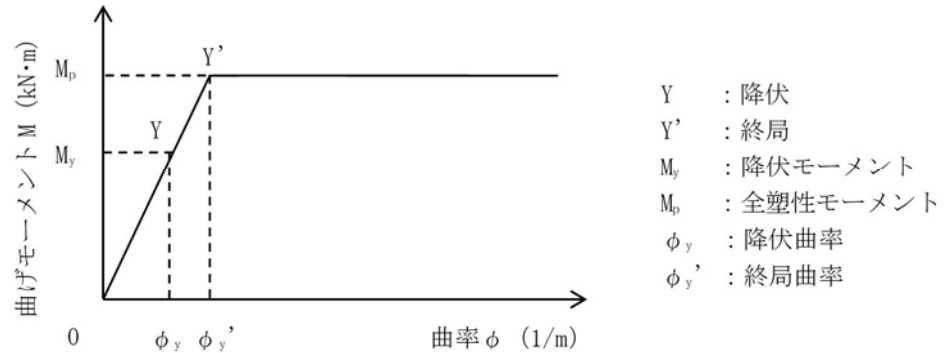


図 2.2-18 $M-\phi$ 関係のバイリニアモデル（鋼管杭）

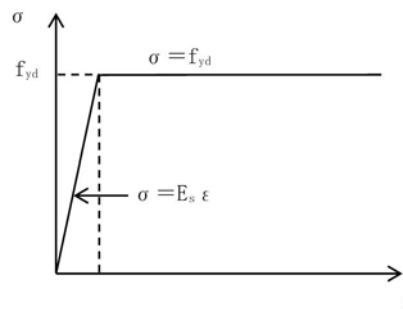


図 2.2-19 鋼材の応力-ひずみ関係

⑥-⑥断面について、鉄筋コンクリート部材は線形はり要素、耐震壁の効果を見込む側壁及び隔壁は平面ひずみ要素を用いてモデル化する。鋼管杭は①-①断面及び④-④断面と同様に、非線形はり要素を用いてモデル化する。

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) 竜巻等防護設備

取水構造物のうち取水ピットには、竜巻等防護設備が設置されることから、当該構造物を考慮した地震応答解析を実施する。なお、取水ピットに設置される竜巻等防護設備の耐震安全性については、V-3-別添 1-1-10-1「建屋及び構造物の強度計算書」にて評価を実施している。

竜巻等防護設備の平面図及び断面図を図 2.2-20 に示す。また、取水ピットの既設 RC 部材との取り合いについての詳細を図 2.2-21 に示す。

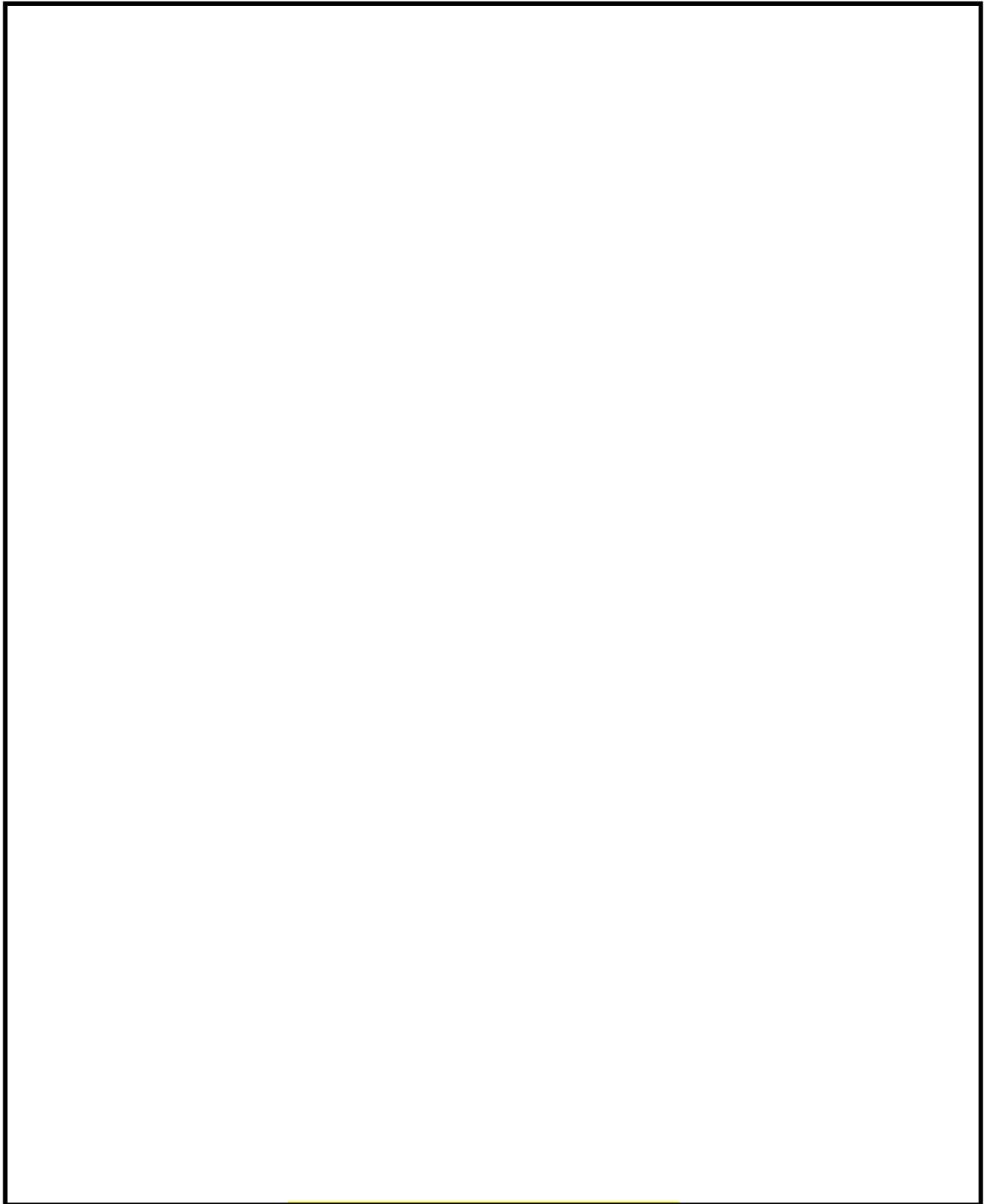


図 2.2-20 竜巻等防護設備の概要図

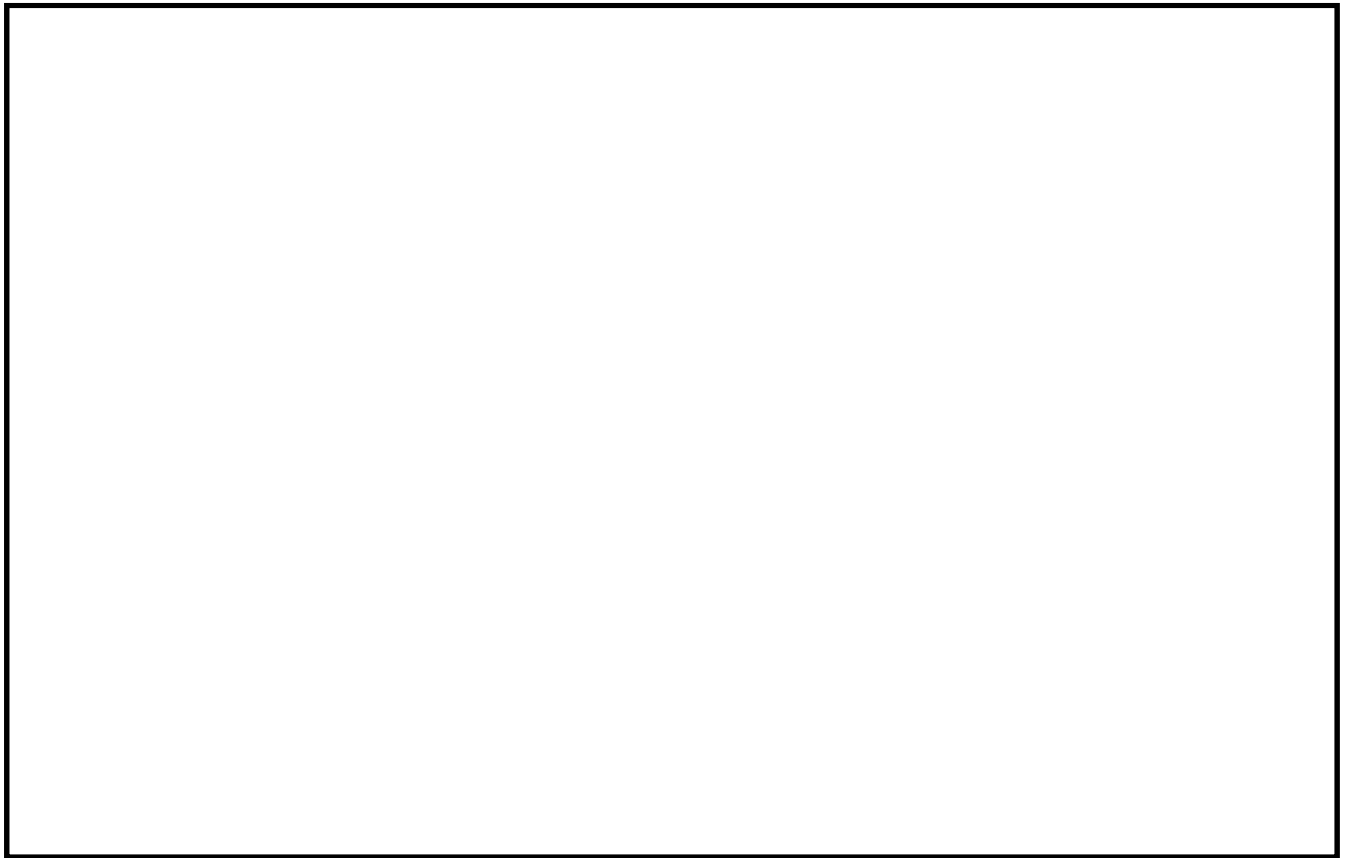


図 2.2-21 取水ピットの既設 RC 部材との取り合い

竜巻等防護設備のうち、主要構造部（赤ハッチ及び緑ハッチの区間）の荷重は、解析断面と平行方向に配置されている既設 RC 部材で受ける設計であり、④-④断面における評価対象部材である側壁、隔壁及び頂版に竜巻等防護対策の当該区間から有意な荷重は作用しない。

なお、④-④断面における評価対象部材である側壁及び隔壁については、一部の増設 RC 部材（裾上げ壁）の荷重を受ける設計としている。

以上のように、竜巻等防護設備が、取水構造物の耐震評価（④-④断面における評価対象部材）に及ぼす影響は軽微であると想定されるが、④-④断面の解析モデルにおいては、耐震評価における保守的な配慮として、これらの竜巻等防護設備を図 2.2-22 に示すように、分布質量として頂版部に作用させる。

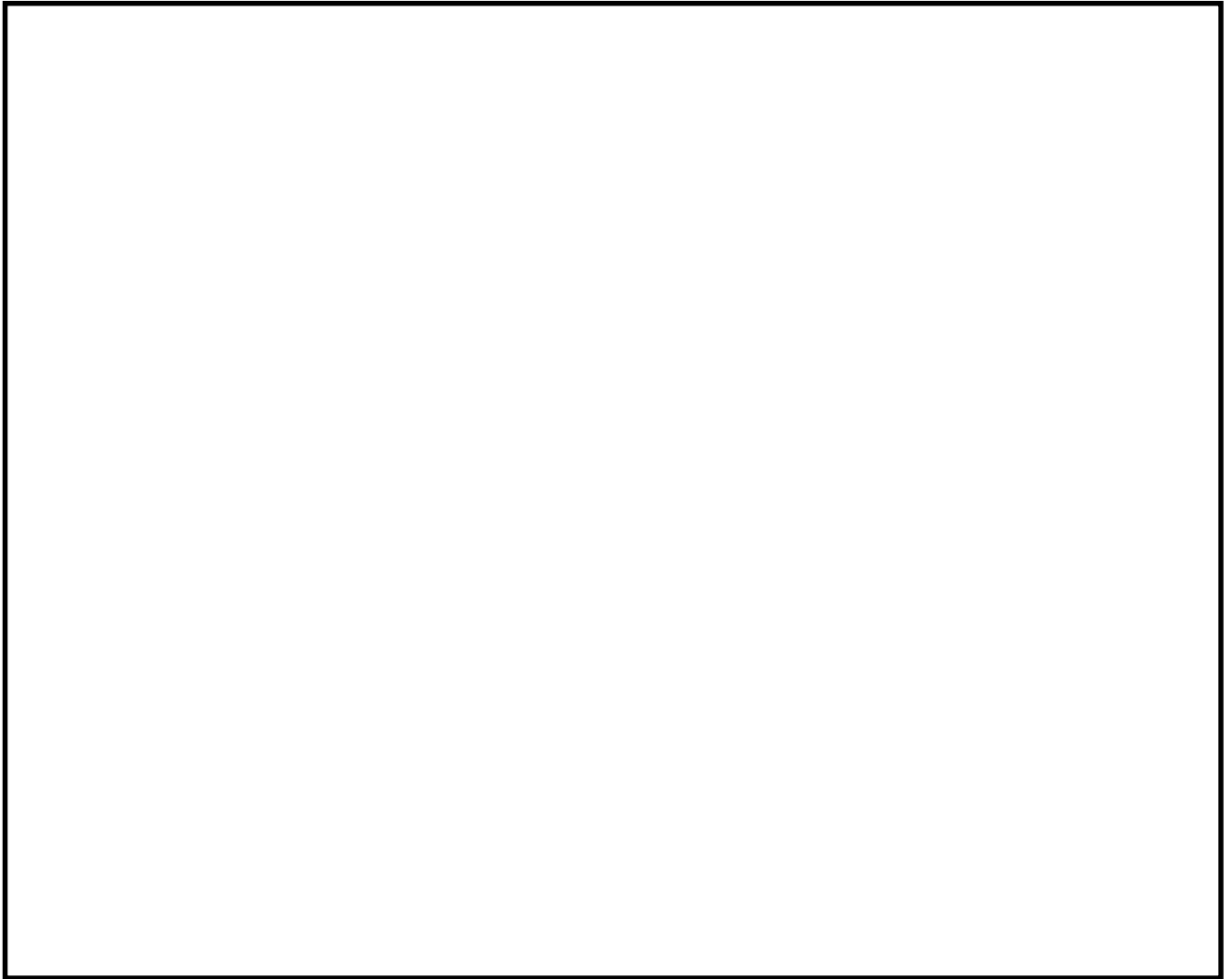


図 2.2-22 ④-④断面における竜巻等防護設備のモデル化について

2.2.10 減衰定数

動的解析における地盤及び構造物の減衰については、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰にて与える。なお、Rayleigh減衰を $\alpha=0$ となる剛性比例型減衰とする。

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトしていくことから、Rayleigh減衰の係数 α 、 β の両方を用いると、質量比例項の減衰 α [M]の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力により時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地震応答の適切な評価が行えるように、低振動数帯で減衰 α [M]の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α, β : 係数

係数 α 、 β は以下のように求めている。

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \frac{h}{\pi f}$$

ここで、

f : 固有値解析により求められた1次固有振動数

h : 各材料の減衰定数

非線形特性を考慮する地盤、コンクリート及び鋼材の減衰定数は1%（解析における減衰は、ひずみが大きい領域では履歴減衰が支配的となる。このため、解析上の安定のためになるべく小さい値として1%を採用している。）とする。また、線形材料としてモデル化するコンクリートの減衰定数は5%（J E A G 4 6 0 1 -1987）とする。

図 2.2-23 に Rayleigh 減衰の設定フローを、表 2.2-10 に固有値解析結果を示す。

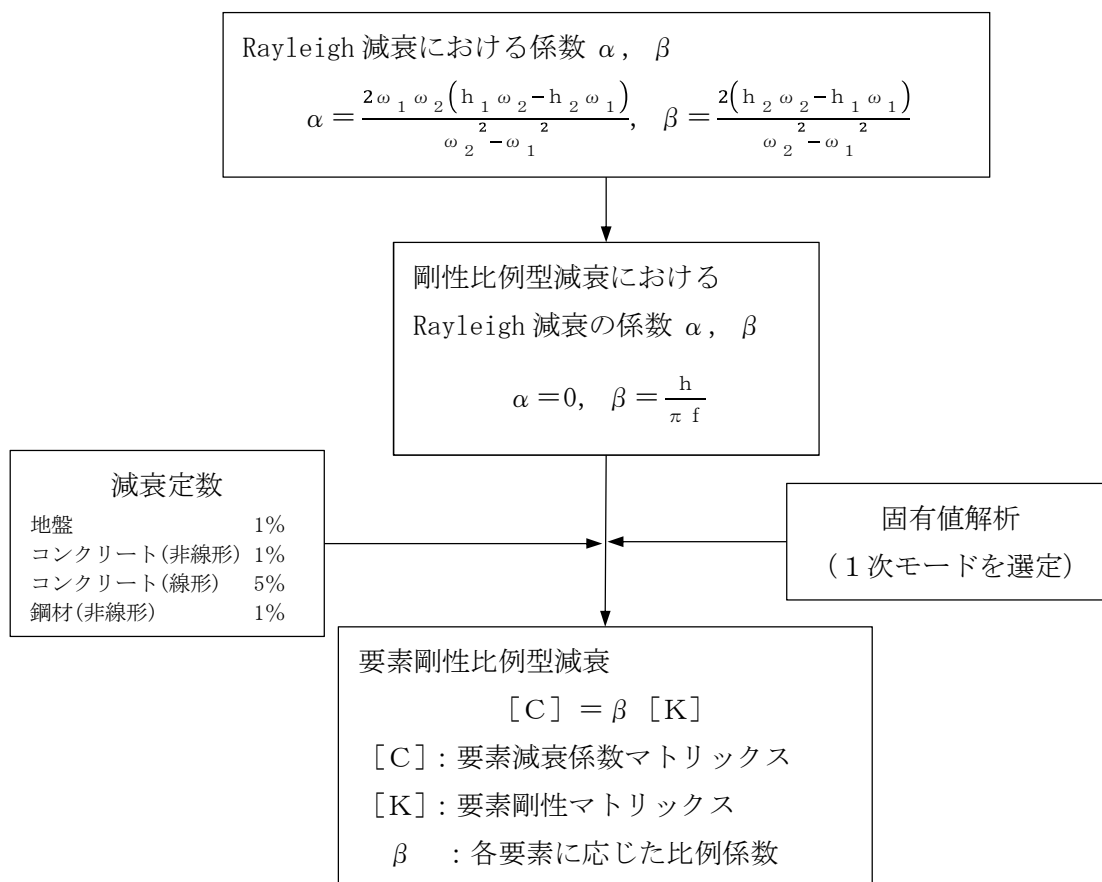


図 2.2-23 Rayleigh 減衰の設定フロー

表 2.2-10 (1) 固有値解析結果 (平均剛性) (追而)

--

表 2.2-10 (2) 固有値解析結果 (+1 σ 剛性) (追而)

表 2.2-10 (3) 固有値解析結果 (-1 σ 剛性) (追而)

表 2.2-10 (4) 固有値解析結果 (豊浦標準砂) (追而)

2.2.11 荷重の組合せ

耐震性能照査にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組合せて設定する。地震荷重には、地震時土圧、動水圧、機器・配管からの反力による荷重が含まれるものとする。

風荷重及び風荷重以外の変動荷重（温度荷重）については、発電所の立地特性や取水構造物が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力と組合せる荷重としては除外した。

なお、取水構造物は、地盤内に埋設されている構造物であることから運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないと考えられるため当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地盤内で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 2.2-11 に示す。

地震時に取水構造物に作用する機器・配管からの反力については、機器・配管を、解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

表 2.2-11 荷重の組合せ

種別		荷重		算定方法
永久荷重	常時考慮荷重	躯体自重	○	・設計図書に基づいて、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定
		機器・配管自重	○	・機器・配管の重さに基づいて設定
		土被り荷重	○	・常時応力解析により設定
		永久上載荷重	○	・竜巻等防護設備の荷重を考慮
		静止土圧	○	・常時応力解析により算定
		外水圧	○	・地下水位に応じた静水圧として設定 ・地下水の密度を考慮
		内水圧	○	・海水面に応じた静水圧として設定 ・海水の密度を考慮
		雪荷重	○	・雪荷重を考慮
変動荷重	風荷重以外	—	・風荷重以外には発電所の立地特性及び構造物の配置状況を踏まえると、偶発荷重（地震荷重）と組合せるべき変動荷重はない	
	風荷重	—	・地中に埋設された構造物であるため、考慮しない	
偶発荷重（地震荷重）	水平地震動	○	・基準地震動 S_s による水平・鉛直同時加振	
	鉛直地震動	○	・躯体、機器・配管の慣性力、動土圧を考慮	
	動水圧	○	・水位条件、密度は、永久荷重と同様 ・地震時動水圧を付加質量により考慮	

(1) 機器・配管荷重

a. ①-①断面（取水路）

図 2.2-24 に①-①断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析単位奥行き（1 m）あたりの荷重および付加質量として考慮する。

左右の側壁には潮位計を，頂版には3つのスクリーン（固定スクリーン，トラベリングスクリーン，回転バースクリーン）のうち，最も重い回転バースクリーンを考慮する。

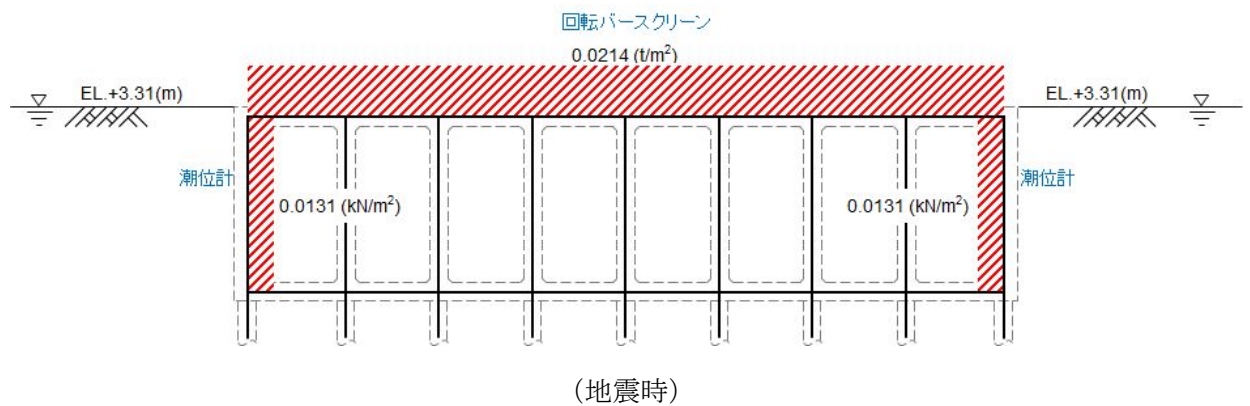
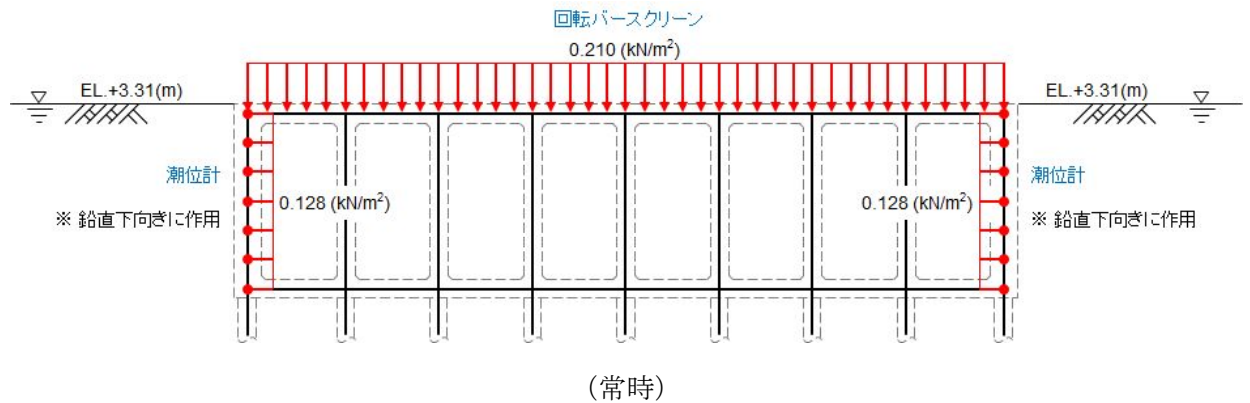


図 2.2-24 機器・配管荷重図（①-①断面）

b. ④-④断面（取水ピット）

図 2.2-25 に④-④断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析単位奥行き（1 m）あたりの荷重および付加質量として考慮する。頂版には非常用海水ポンプ及びCWポンプを考慮する。

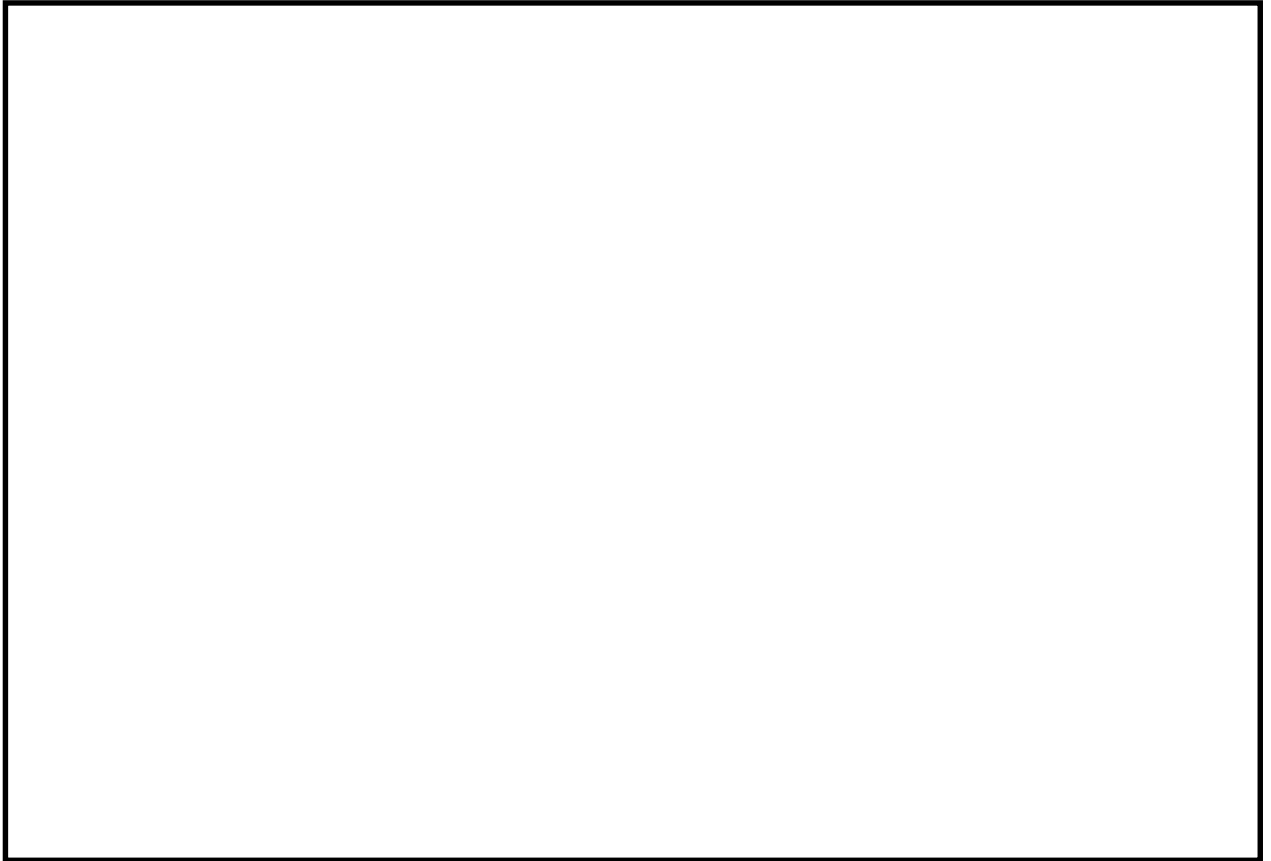


図 2.2-25 機器・配管荷重図（④-④断面）

c. ⑥-⑥断面（縦断図）

図 2.2-26 に⑥-⑥断面における機器・配管荷重図を示す。

機器・配管荷重は解析単位奥行き（1 m）あたりの荷重および付加質量として考慮する。

頂版には，比較的大きな荷重となる設備として，非常用海水ポンプ，止水機構，スクリーン（回転バースクリーン，トラベリングスクリーン）を考慮する。また，側壁には潮位計を考慮する。



図 2.2-26 機器・配管荷重図（⑥-⑥断面）

(2) 外水圧

地下水位は地表面として設定する。設定の際は，地下水の密度として， $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

(3) 内水圧

取水構造物の内部には朔望平均満潮位である E.L. +0.61 m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は海水の密度として、 1.03g/cm^3 を考慮する。

a. ①-①断面 (取水路)

図 2.2-27 に、①-①断面における内水圧図を示す。

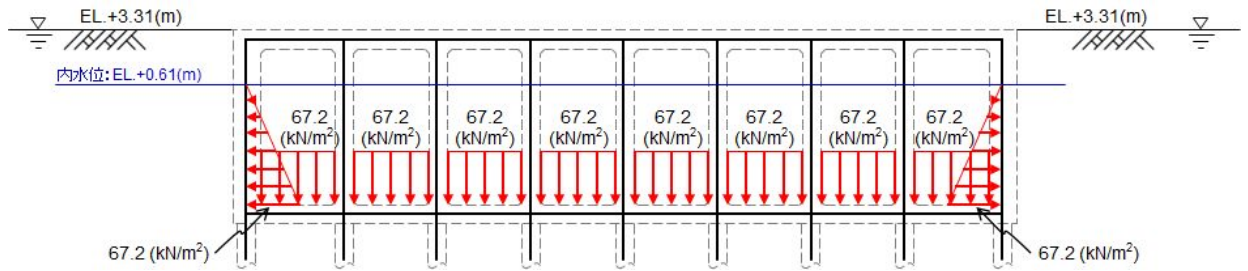


図 2.2-27 内水圧図 (①-①断面)

b. ④-④断面 (取水ピット)

図 2.2-28 に、④-④断面における内水圧図を示す。

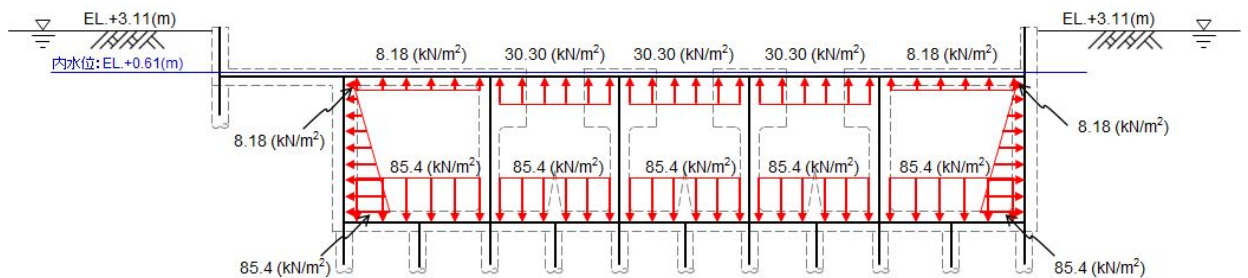


図 2.2-28 内水圧図 (④-④断面)

c. ⑥-⑥断面 (縦断面)

図 2.2-29 に、⑥-⑥断面における内水圧図を示す。

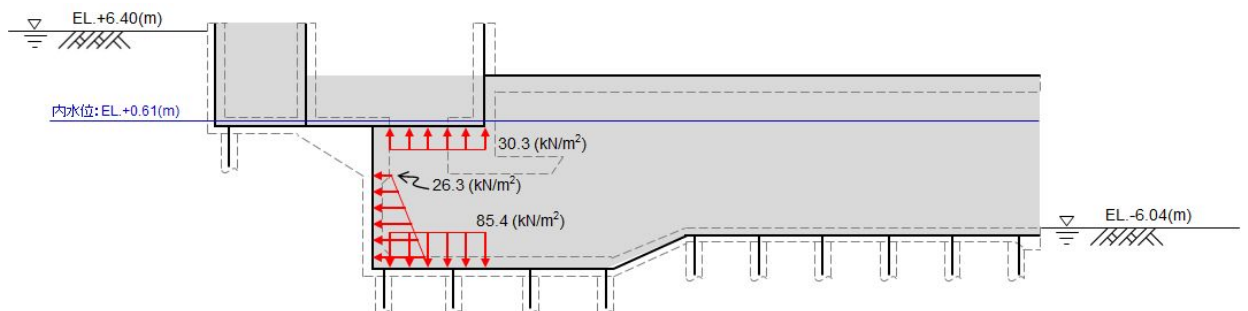


図 2.2-29 内水圧図 (⑥-⑥断面)

(4) 雪荷重

雪荷重については、「建築基準法施行令第86条」及び「茨城県建築基準法施行細則 第16条の4」に従って設定する。積雪の厚さ1cmあたりの荷重を $20\text{N/m}^2/\text{cm}$ として、積雪量は30cmとしていることから、積雪荷重は 600N/m^2 であるが、地震時短期荷重として積雪荷重の0.35倍である 0.21kN/m^2 を考慮する。

a. ①-①断面（取水路）

図2.2-30に、①-①断面における雪荷重図を示す。

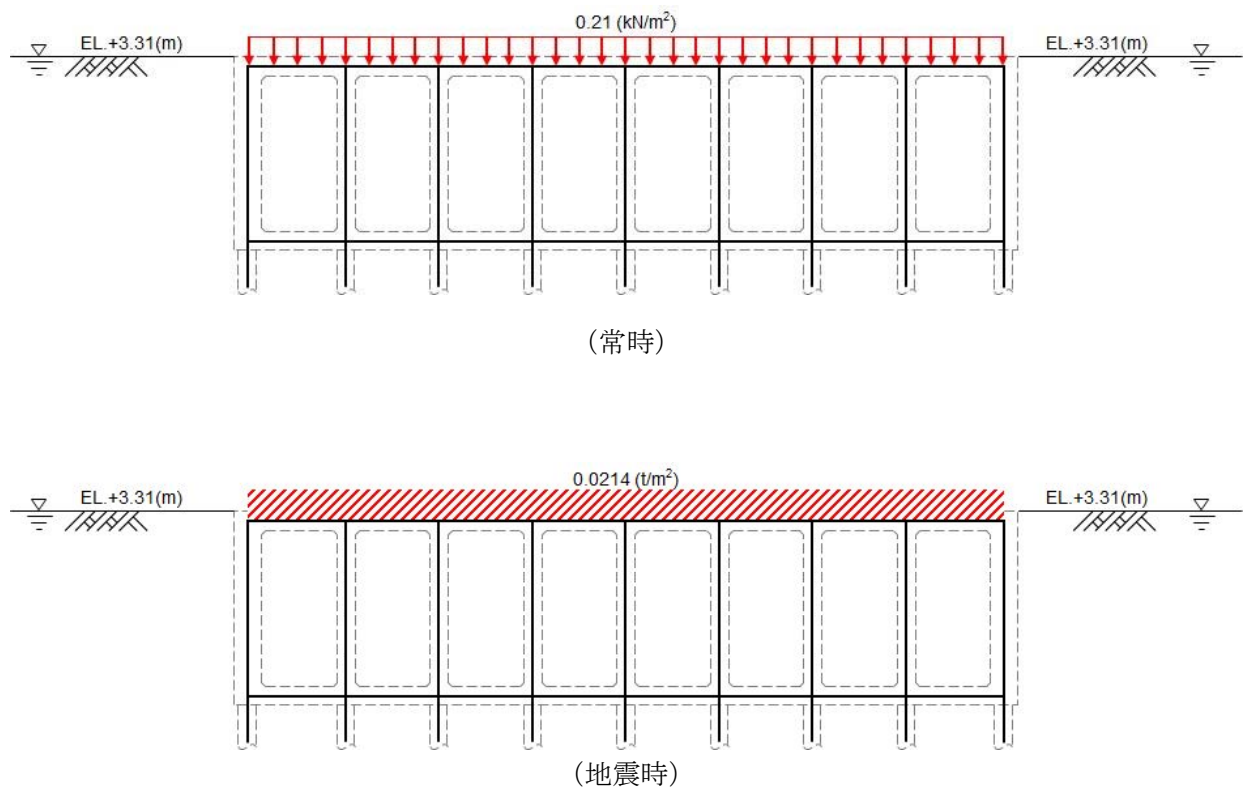


図2.2-30 雪荷重図（①-①断面）

b. ④-④断面 (取水ピット)

図 2.2-31 に、④-④断面における雪荷重図を示す。

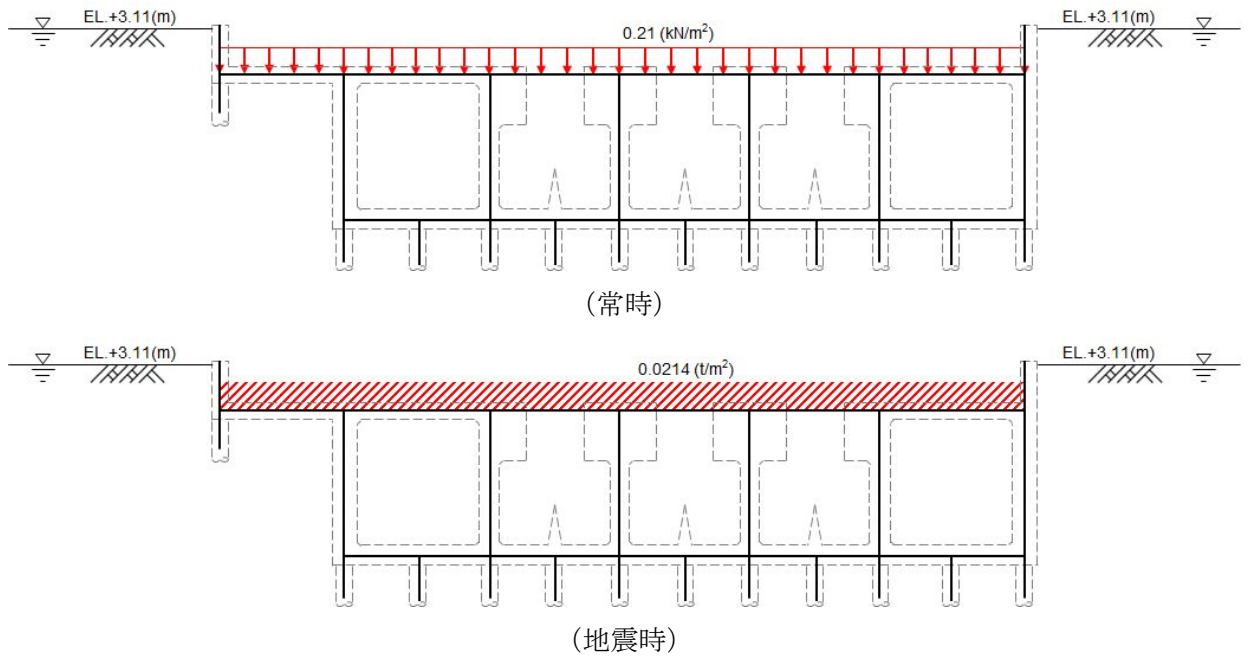


図 2.2-31 雪荷重図 (④-④断面)

b. ④-④断面 (取水ピット)

図 2.2-32 に、⑥-⑥断面における雪荷重図を示す。

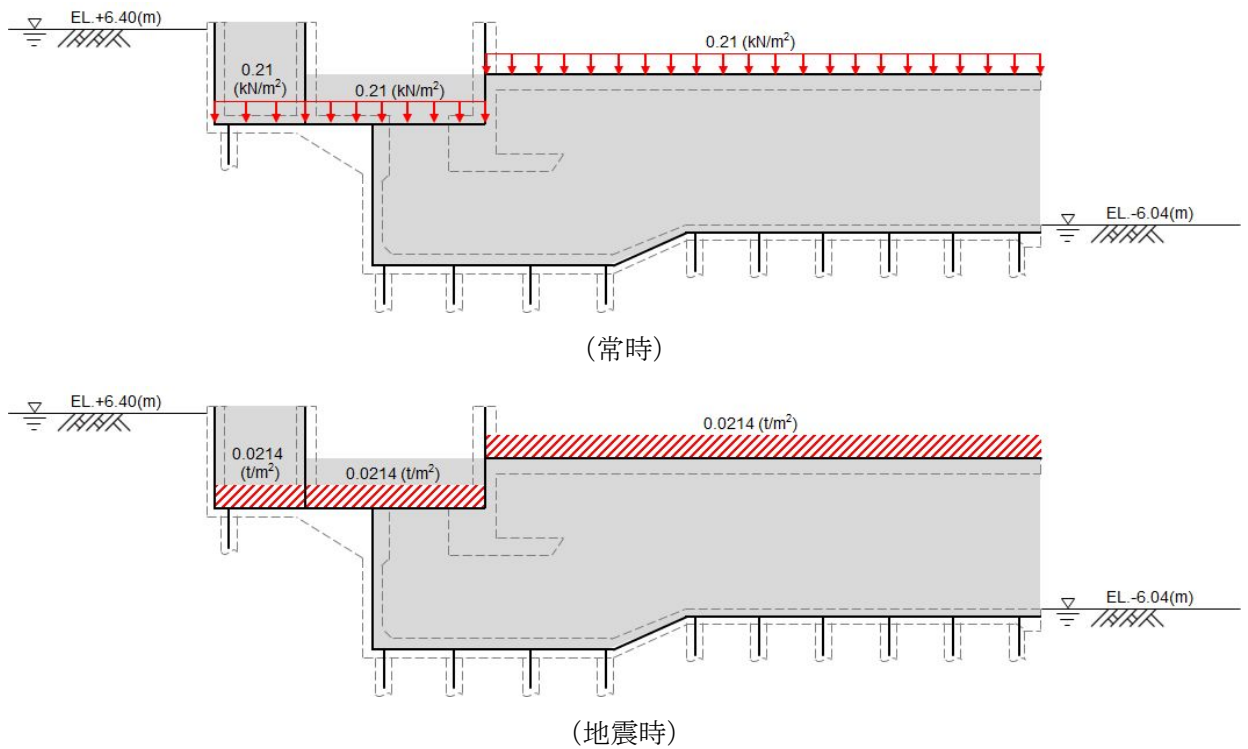


図 2.2-32 雪荷重図 (⑥-⑥断面)

(5) 動水圧

取水構造物の内部には朔望平均満潮位である E.L. +0.61 m を水面とした動水圧を付加質量として設定し、地震時の影響を考慮する。設定の際は海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

a. ①-①断面（取水路）

図 2.2-33 に、①-①断面における動水圧図を示す。

①-①断面には自由水面が存在するため、Westergaard 式による動水圧を設定する。

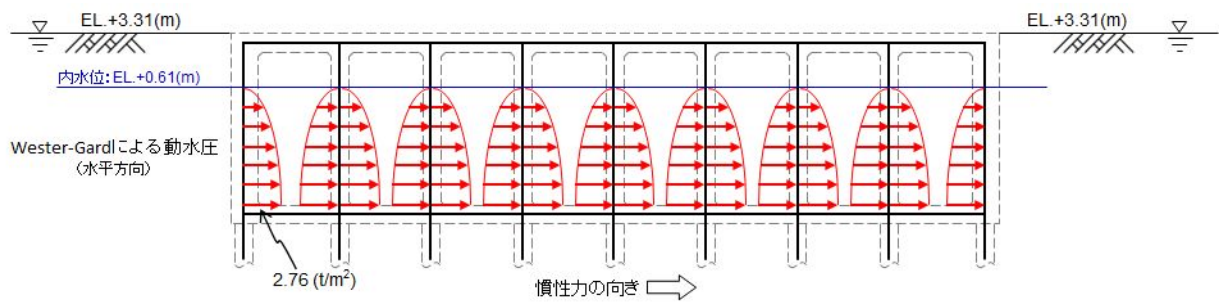


図 2.2-33 (1) 水平動による動水圧図 (①-①断面)

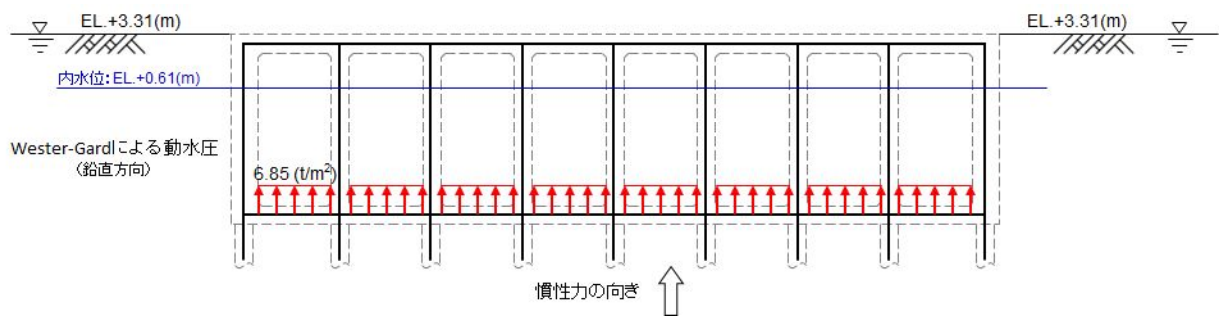


図 2.2-33 (2) 鉛直動による動水圧図 (①-①断面)

b. ④-④断面（取水ピット）

図 2.2-34 に、④-④断面における動水圧図を示す。

④-④断面は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

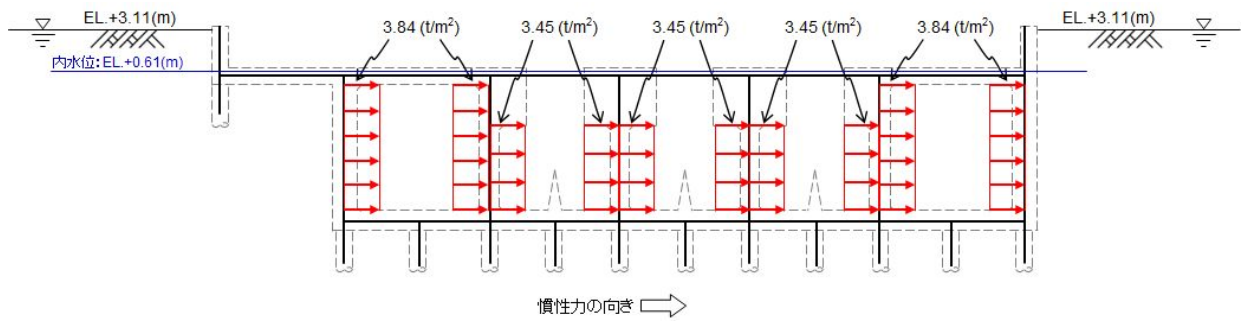


図 2.2-34 (1) 水平動による動水圧図（④-④断面）

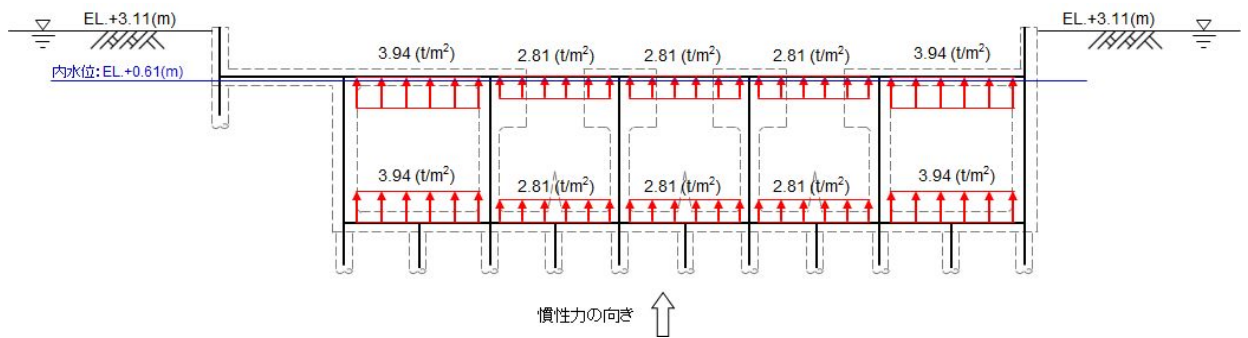


図 2.2-34 (2) 鉛直動による動水圧図（④-④断面）

c. ⑥-⑥断面（縦断面）

図 2.2-35 に、⑥-⑥断面における動水圧図を示す。

⑥-⑥断面は取水ピットと取水路にまたがる縦断面であるが、取水路については、海に開放されており、かつ自由水面が存在する区間であることから動水圧は考慮しない。一方で、取水ピットは満水状態であり、かつ側壁には水平動による動水圧が作用すると考えられるため、これを考慮する。

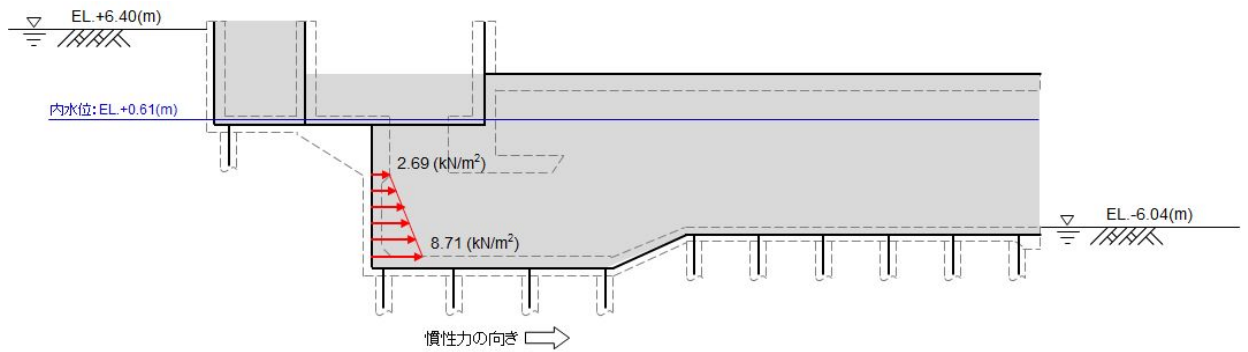


図 2.2-35 (1) 水平動による動水圧図（⑥-⑥断面）

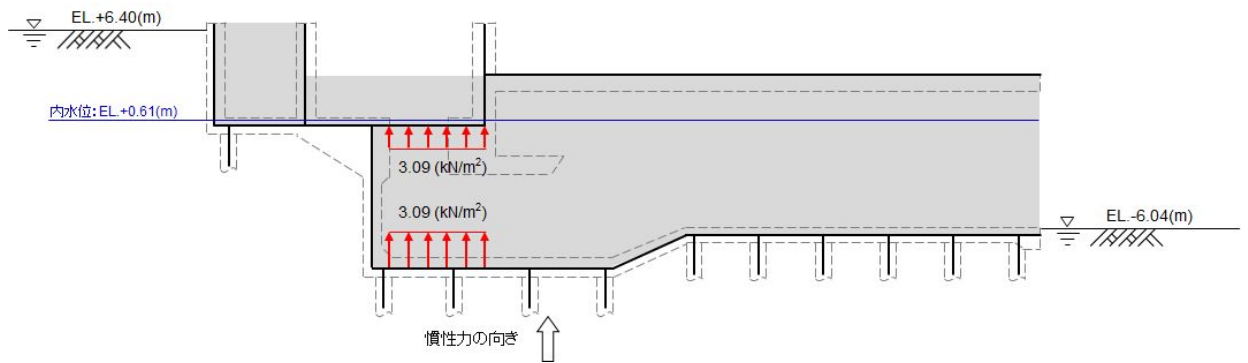


図 2.2-35 (2) 鉛直動による動水圧図（⑥-⑥断面）

(6) 竜巻等防護設備

竜巻等防護設備の荷重は解析の単位奥行き(1m)あたりの荷重および付加質量として考慮する。

a. ④-④断面(取水ピット)

図 2.2-36 に、④-④断面における竜巻等防護設備の荷重図を示す。

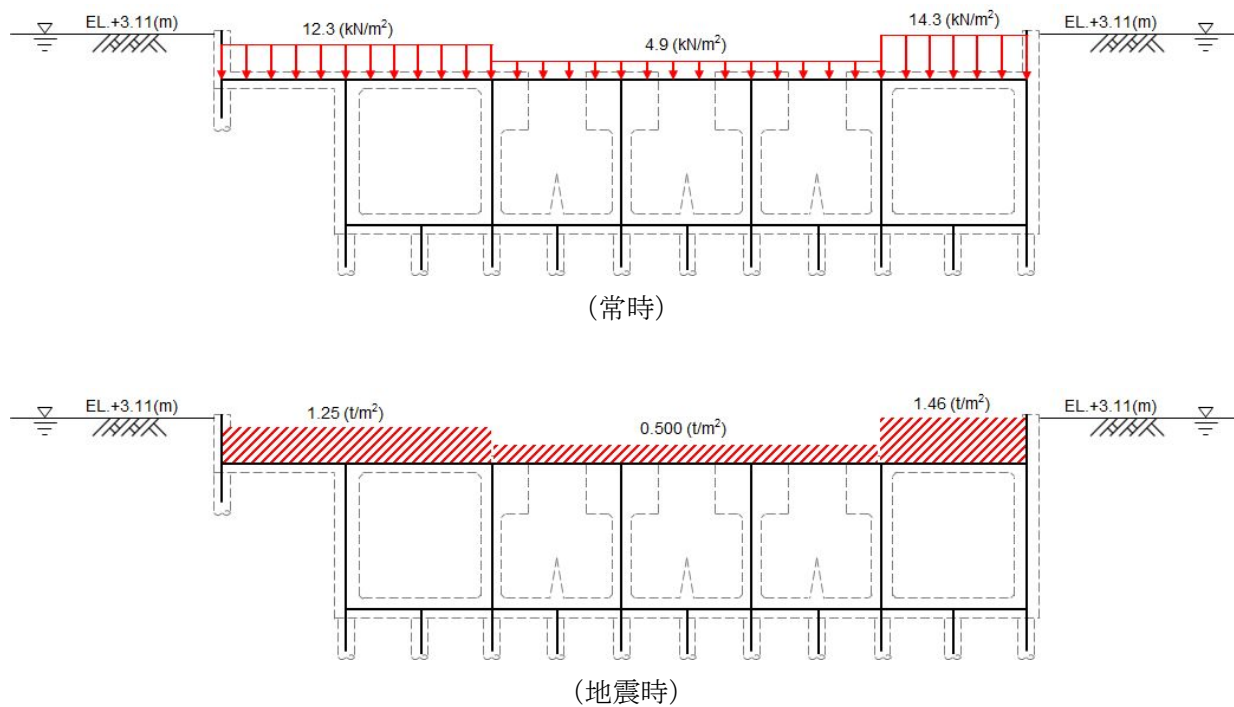


図 2.2-36 竜巻等防護設備の荷重図 (④-④断面)

b. ⑥-⑥断面（縦断図）

図 2.2-37 に、⑥-⑥断面における竜巻等防護設備の荷重図を示す。

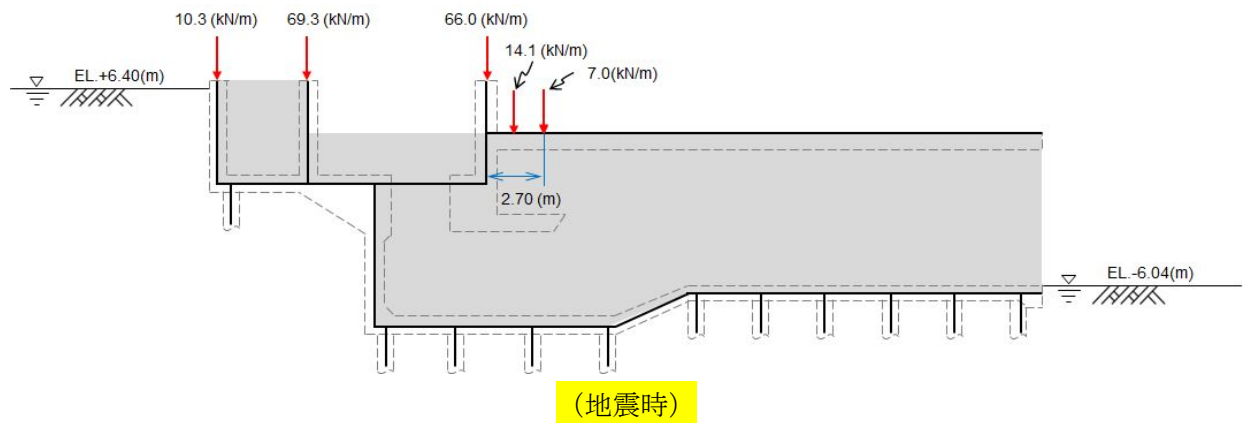
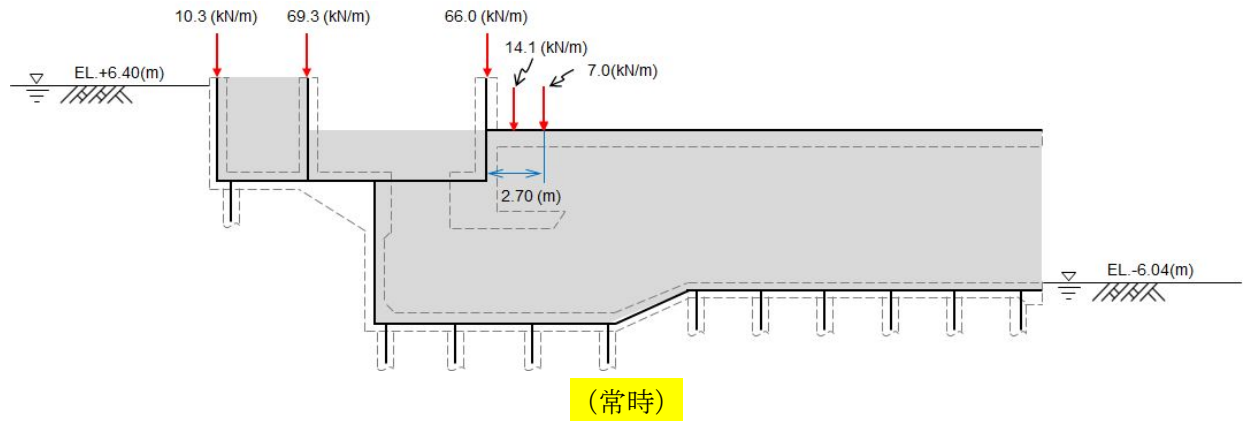


図 2.2-37 竜巻等防護設備の荷重図（⑥-⑥断面）

2.2.12 地震応答解析の検討ケース

(1) 耐震設計における検討ケース

取水構造物の耐震設計における検討ケースを表 2.2-12 に示す。

表 2.2-12 取水構造物の耐震設計における検討ケース

検討ケース		① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	1				
		(+-)	1				
		(-+)	1				
		(---)	1				
	S _s -11	(++)	1	1	1	1	1
	S _s -12	(++)	1				
	S _s -13	(++)	1				
	S _s -14	(++)	1				
	S _s -21	(++)	1				
	S _s -22	(++)	1				
S _s -31	(++)	1					
	(-+)	1					
計		12	1	1	1	1	1

①の検討において、最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)地震動を用いて実施する。
最も厳しい地震動の選定にあたっては、各施設の評価部位毎(上部構造及び下部構造)に1波選定する。

注記 * : 異なる建屋・構築物間の相対変位の算定は、上記ケースの中で、変位量が最も大きいケースにて行う。

(2) 機器・配管系に対する加速度応答抽出のための検討ケース

機器・配管系に対する加速度応答の抽出における検討ケースを表 2.2-13 に示す。

表 2.2-13 機器・配管系への加速度応答の抽出における検討ケース

検討ケース		④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース	
液状化強度特性の設定		敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	
地震波(位相)	S _s -D1	(++)	⑤において、 上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。	⑤において、 上載される機器・配管系の固有振動数帯で加速度応答が最も大きくなる地震動を用いて実施する。	
		(+-)			
		(-+)			
		(--)			
	S _s -11	(++)			1
	S _s -12	(++)			1
	S _s -13	(++)			1
	S _s -14	(++)			1
	S _s -21	(++)			1
	S _s -22	(++)			1
	S _s -31	(++)			1
		(-+)			1
計		1	12	1	

2.3 評価内容

2.3.1 入力地震動の設定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を 1 次元波動論によって、地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルを用いる。

図 2.3-1 に入力地震動算定の概念図を、図 2.3-2 に入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。

なお、特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。断層モデル波である $S_s-11 \sim S_s-22$ については、特定の方向性を有することから、構造物の評価対象断面方向を考慮し、方位補正を行う。具体的には NS 方向及び EW 方向の地震動について構造物の評価断面方向の成分を求め、各々を足し合わせることで方位補正した地震動を設定する。

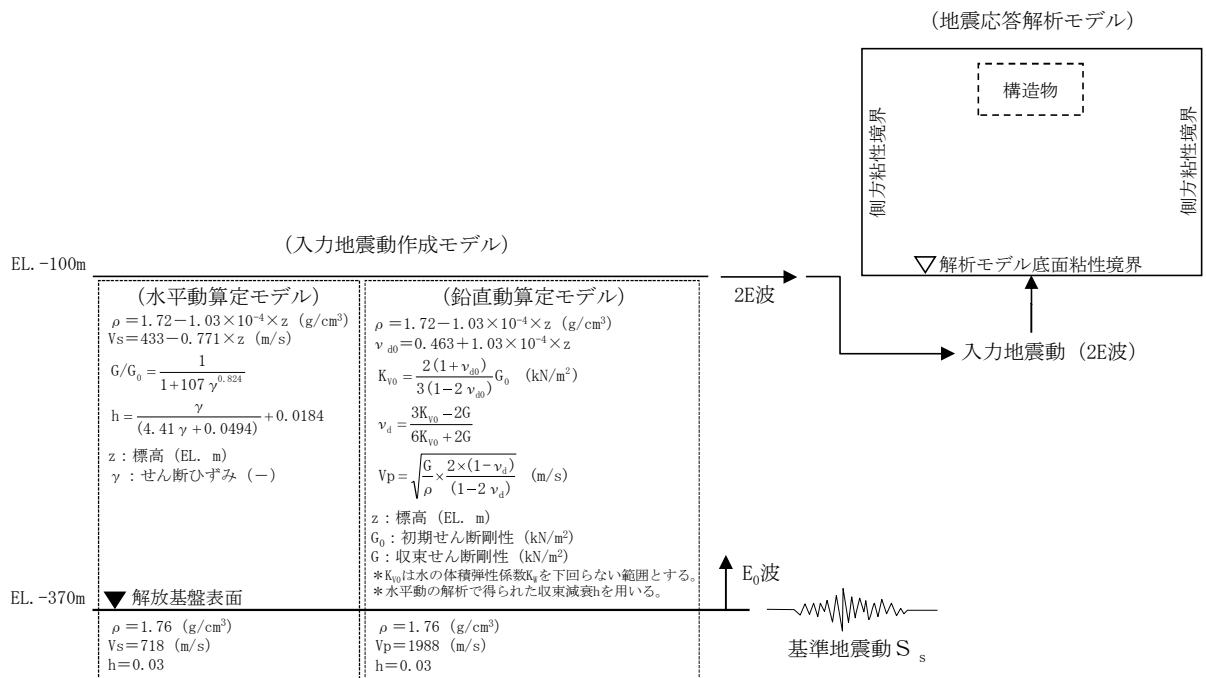
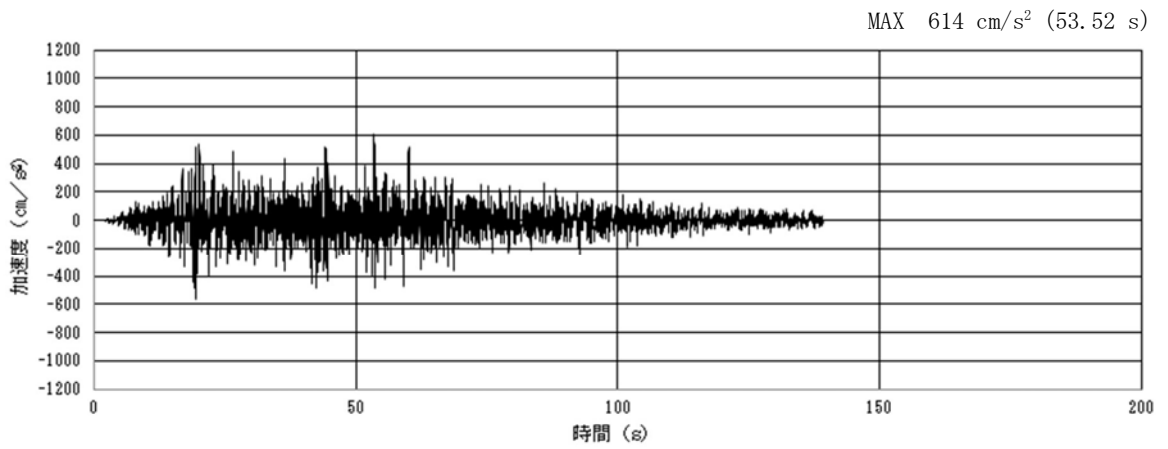
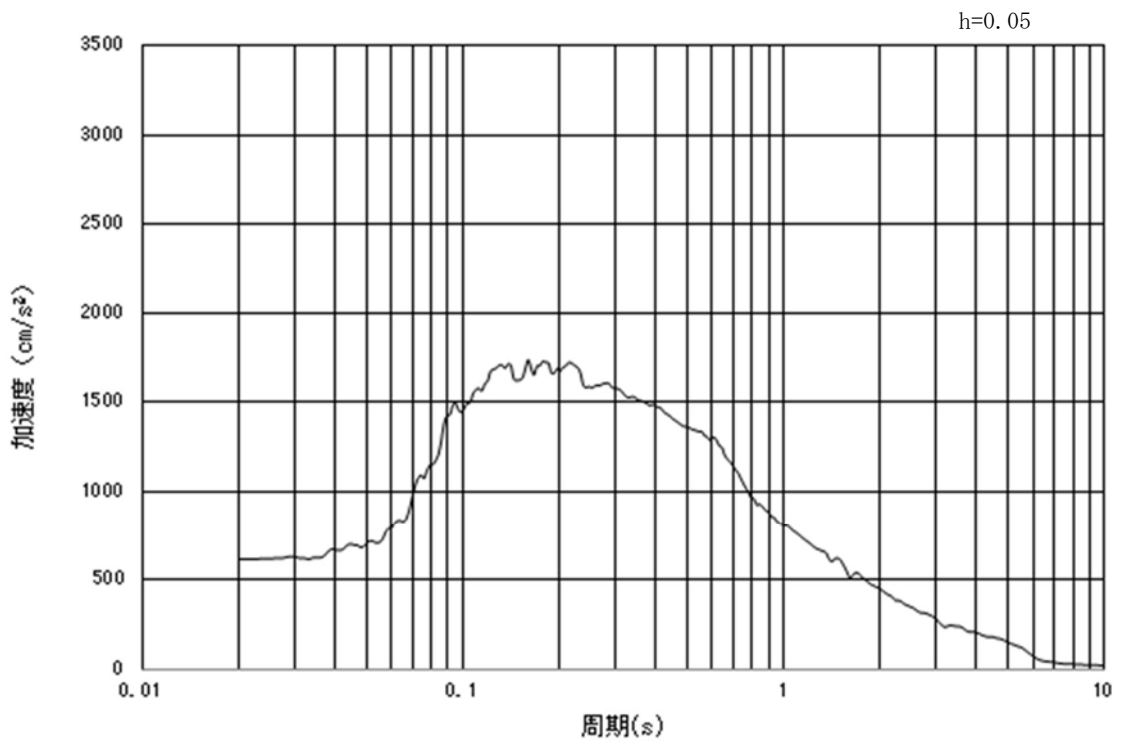


図 2.3-1 入力地震動算出の概念図

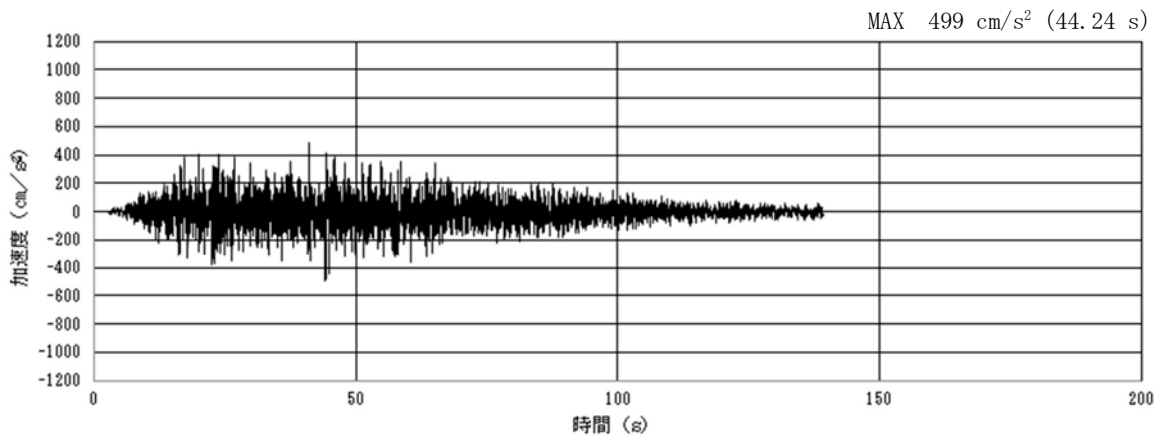


(a) 加速度時刻歴波形

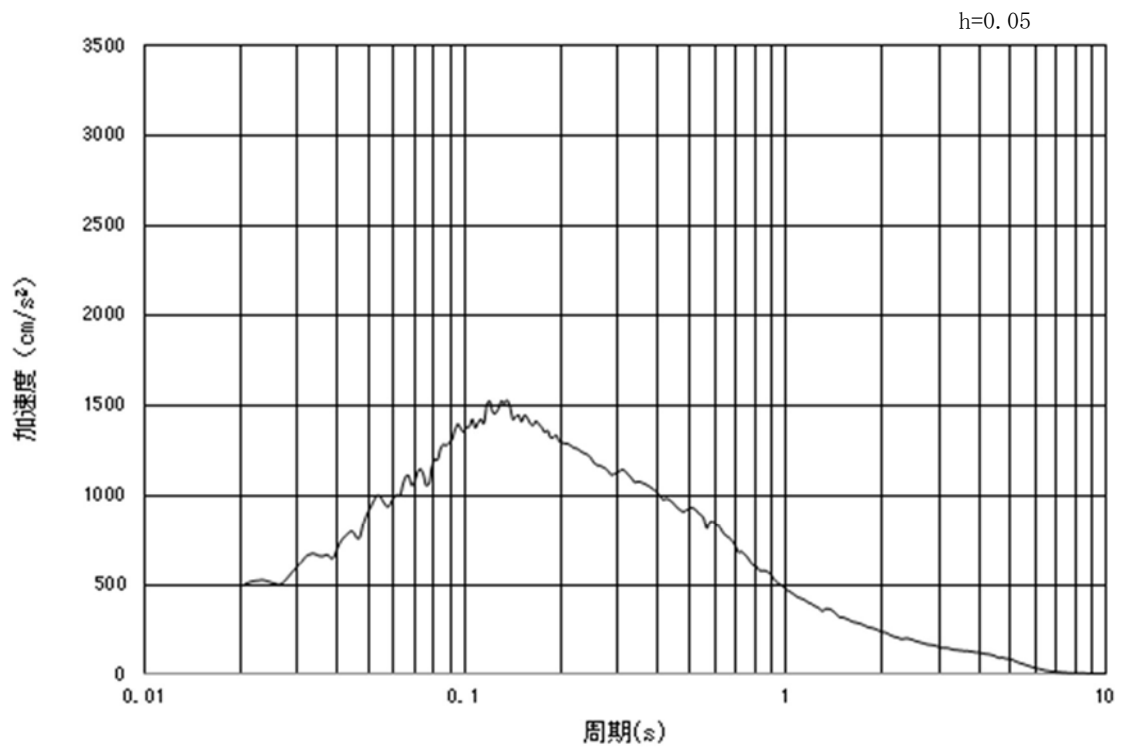


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向： S_s-D1)

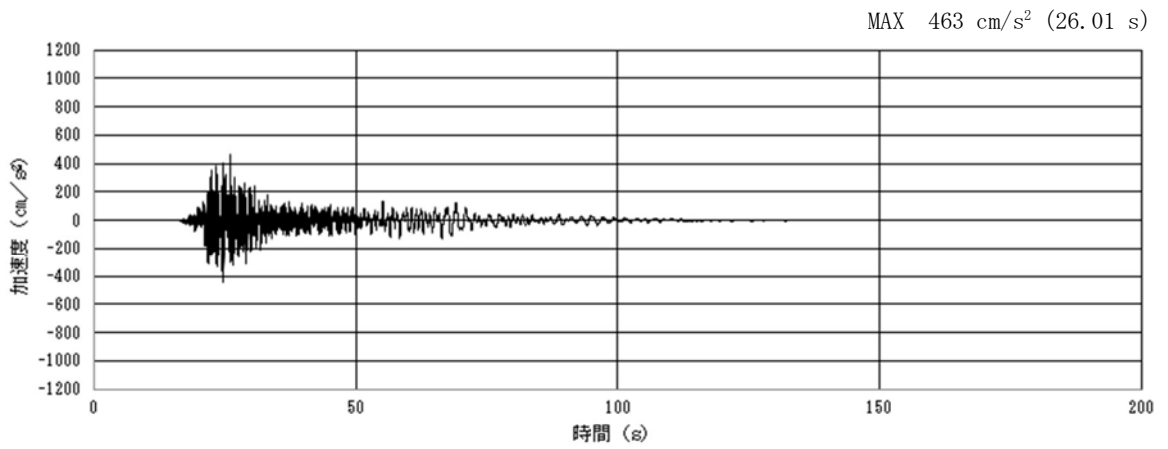


(a) 加速度時刻歴波形

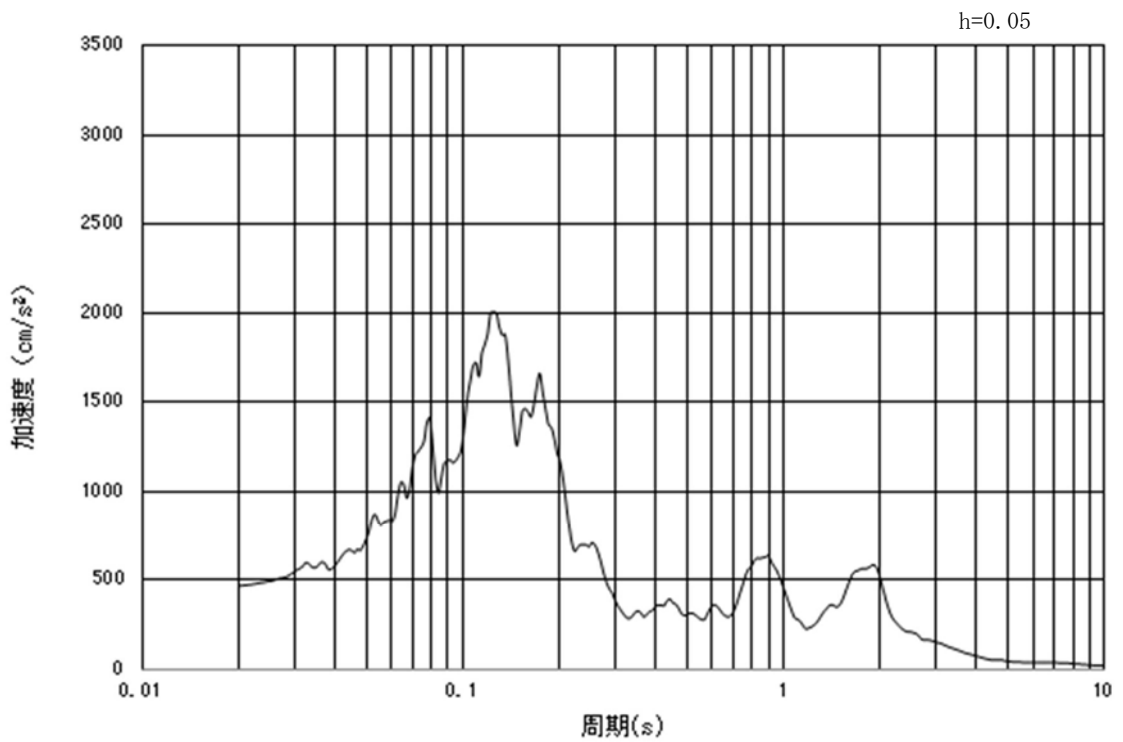


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_s-D1)

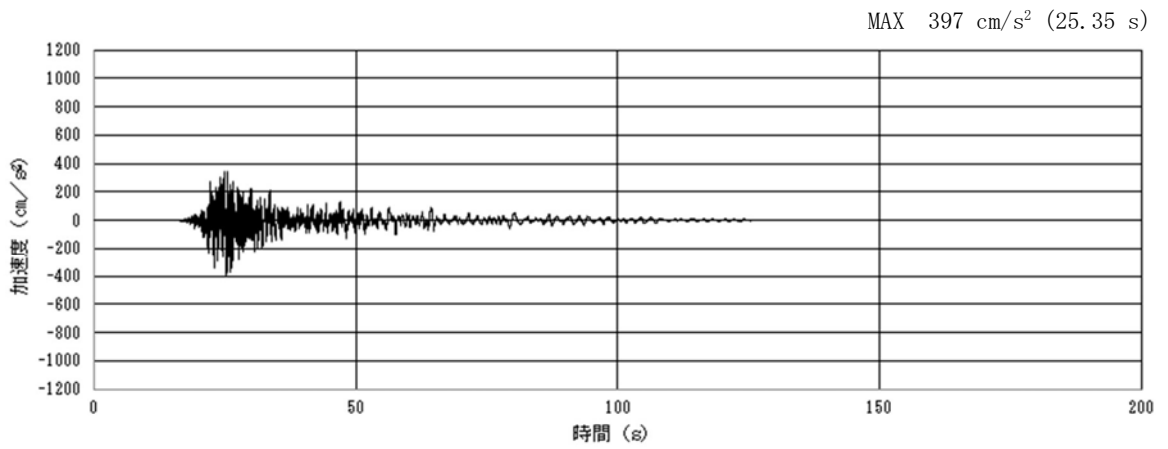


(a) 加速度時刻歴波形

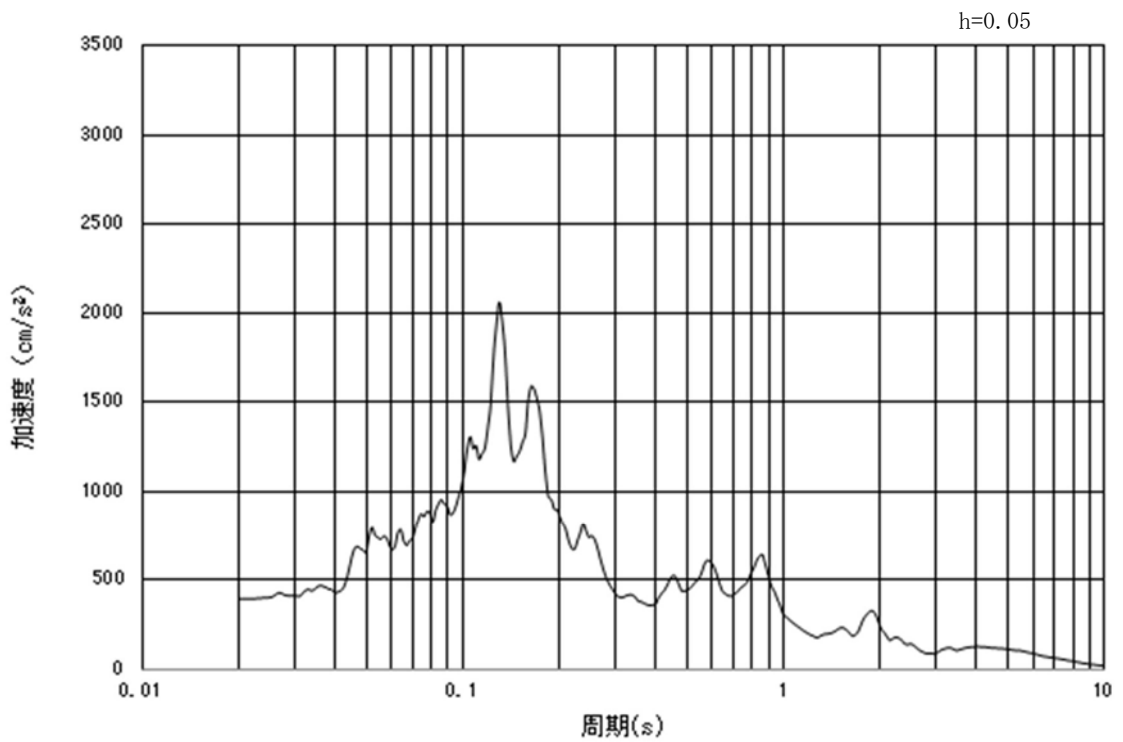


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-11 NS 成分)

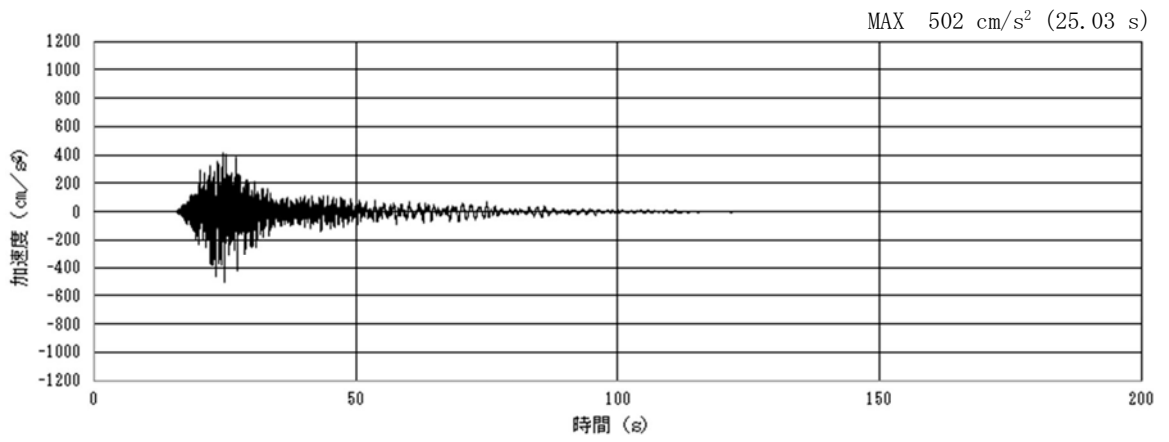


(a) 加速度時刻歴波形

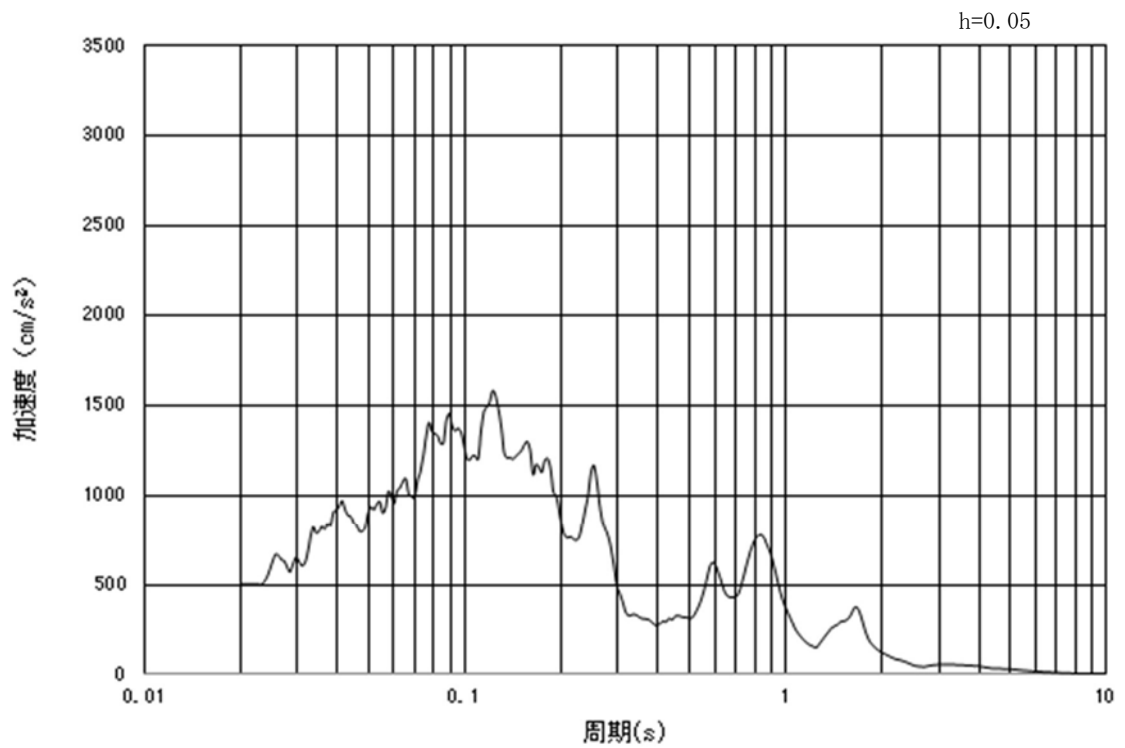


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-11 EW 成分)

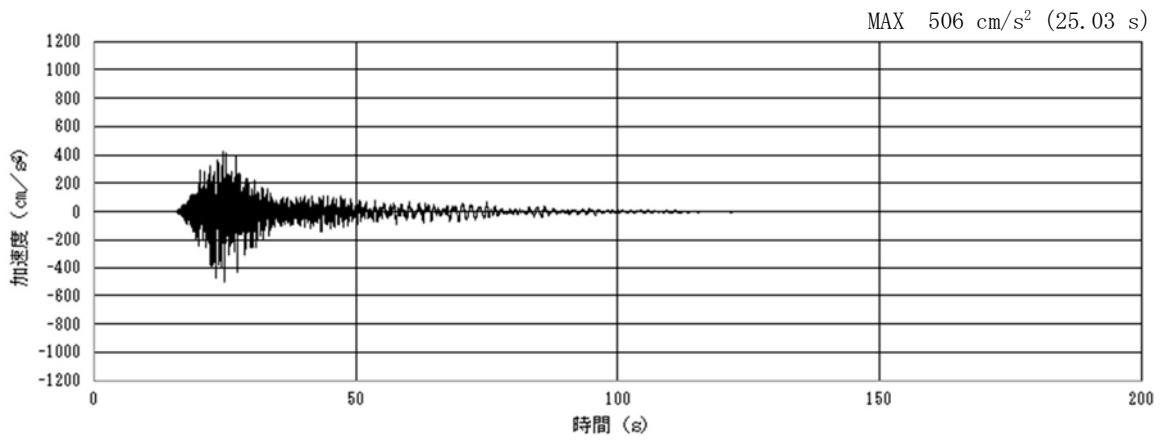


(a) 加速度時刻歴波形

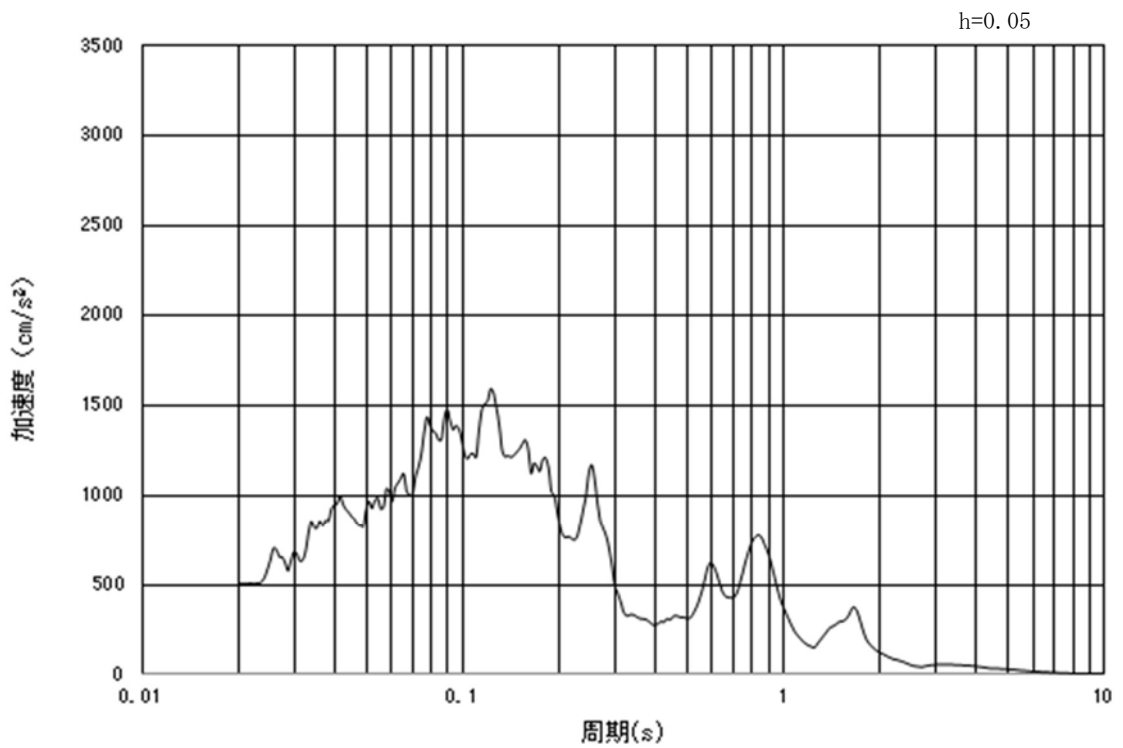


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S_s-11 UD 成分 (NS 方向))

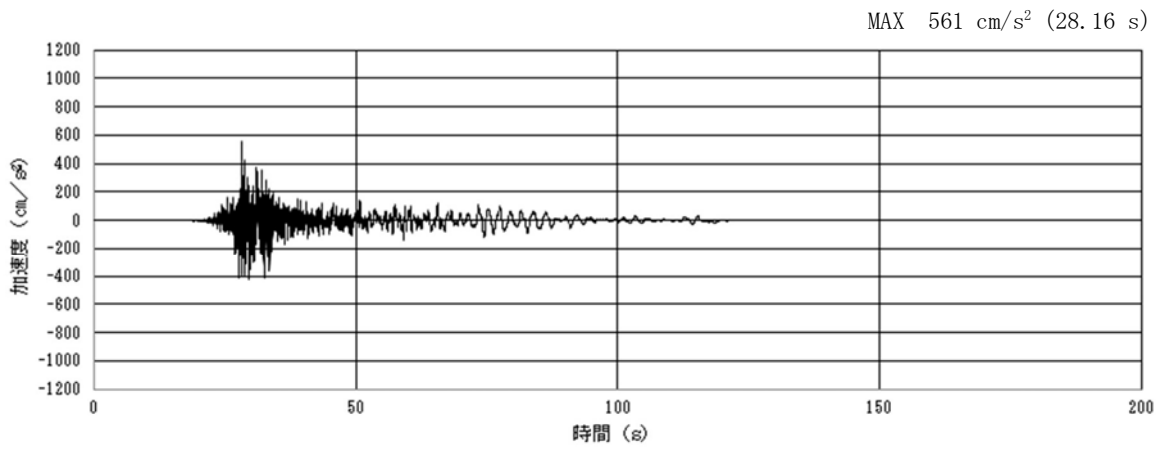


(a) 加速度時刻歴波形

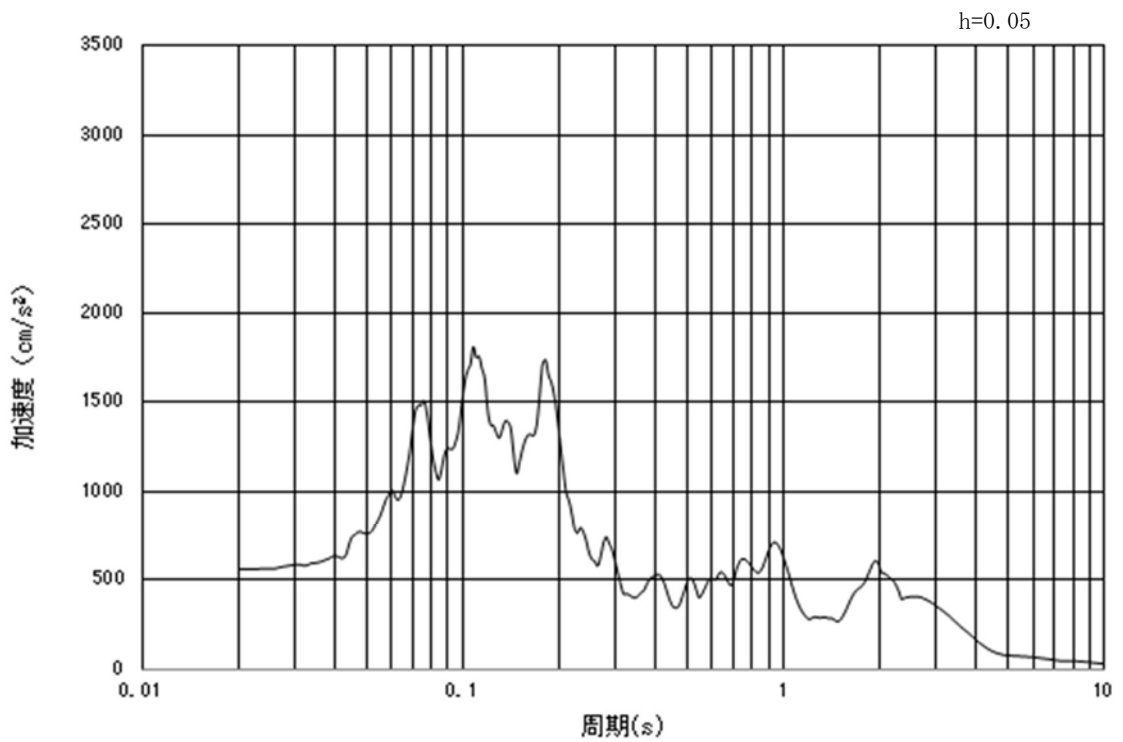


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-11 UD 成分 (EW 方向))

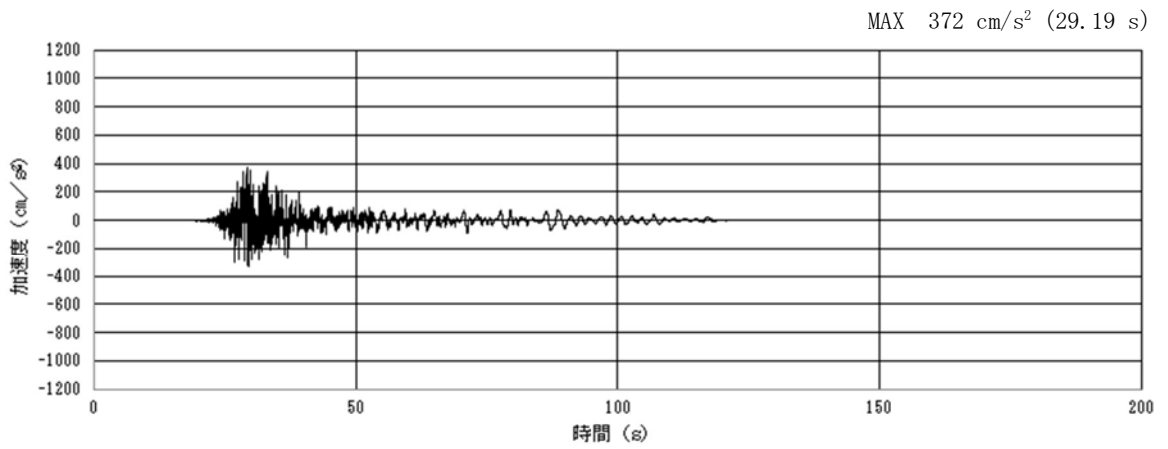


(a) 加速度時刻歴波形

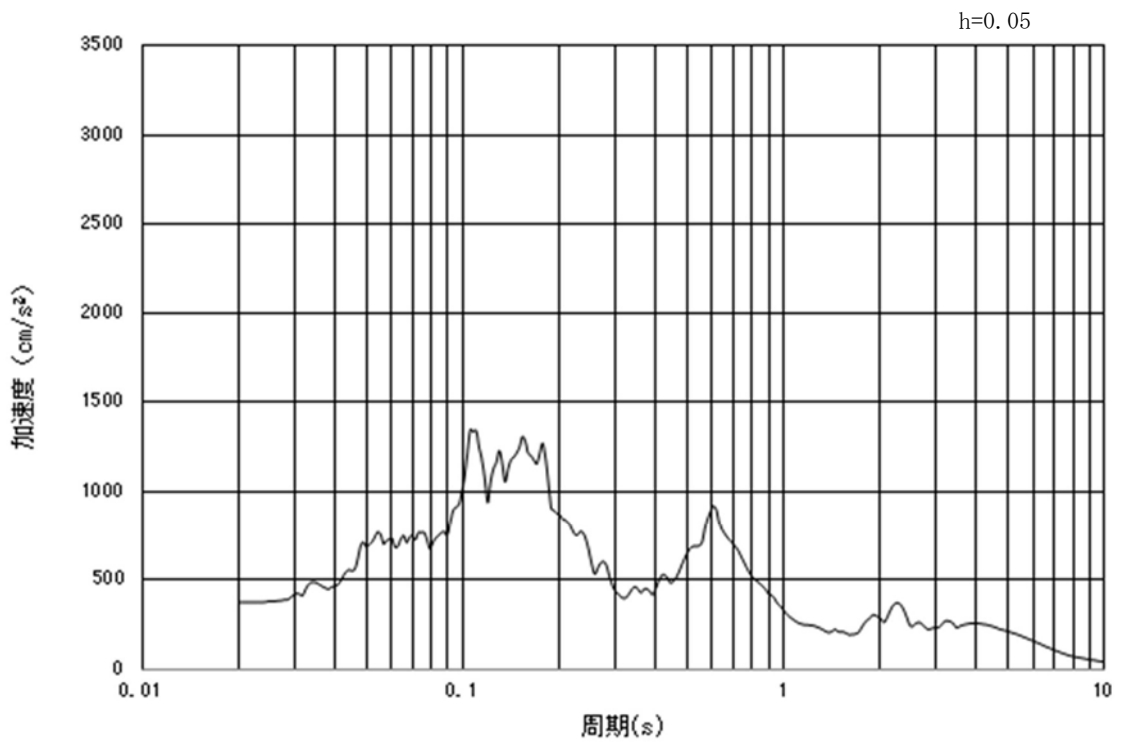


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-12 NS 成分)

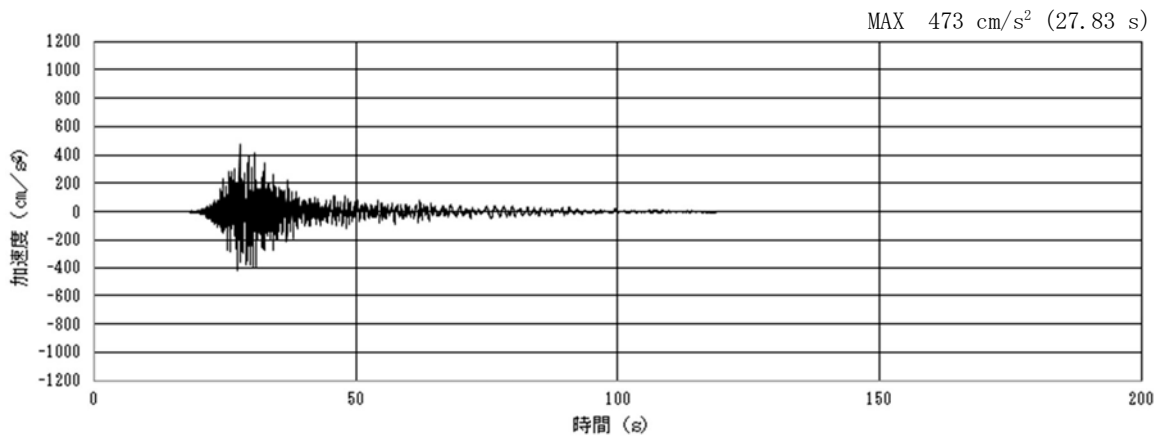


(a) 加速度時刻歴波形

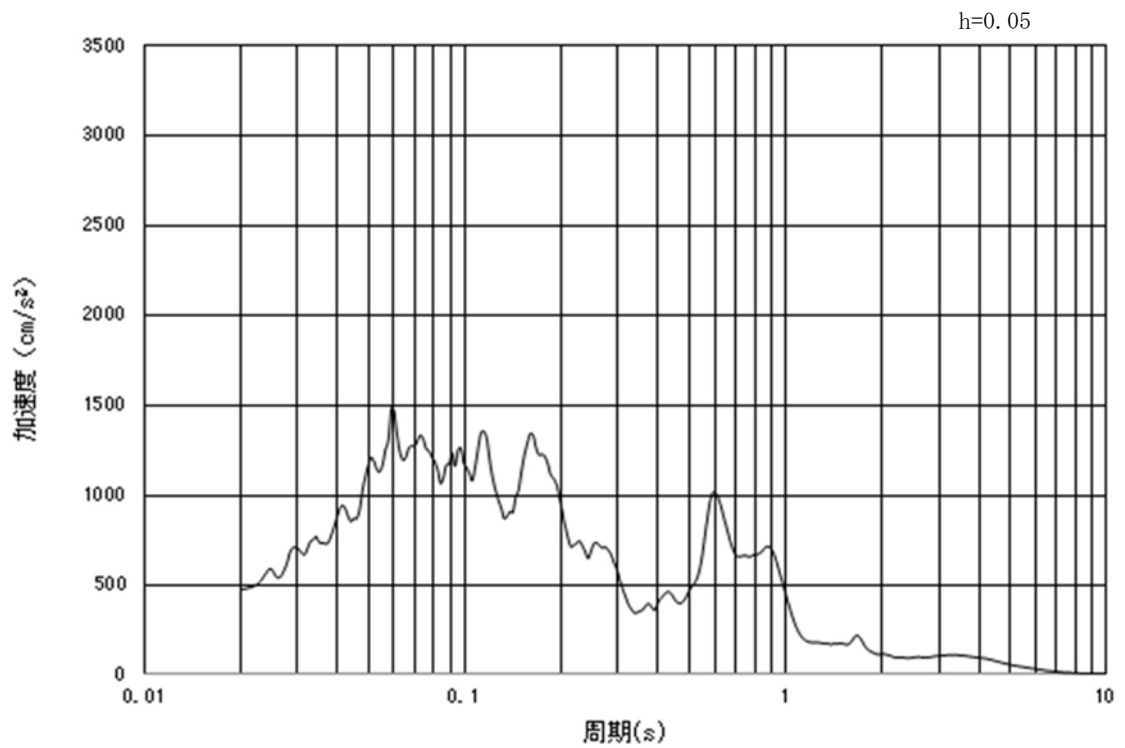


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-12 EW 成分)

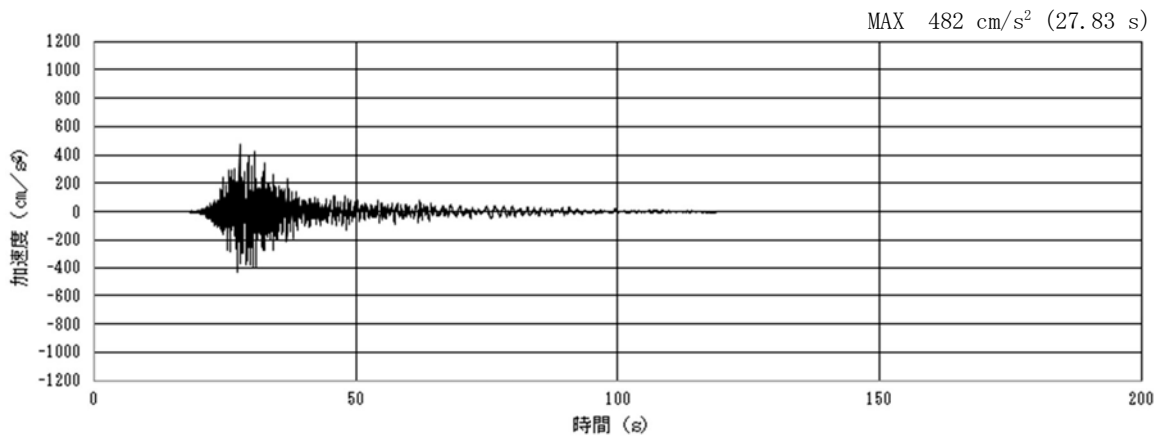


(a) 加速度時刻歴波形

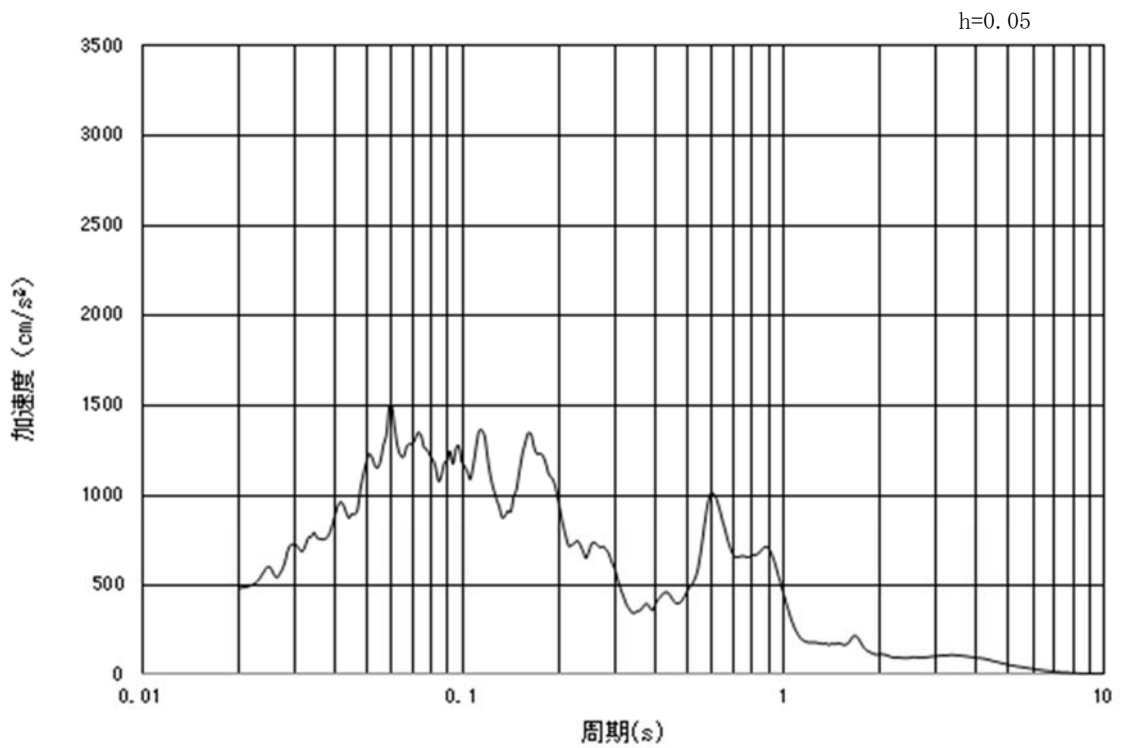


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-12 UD 成分 (NS 方向))

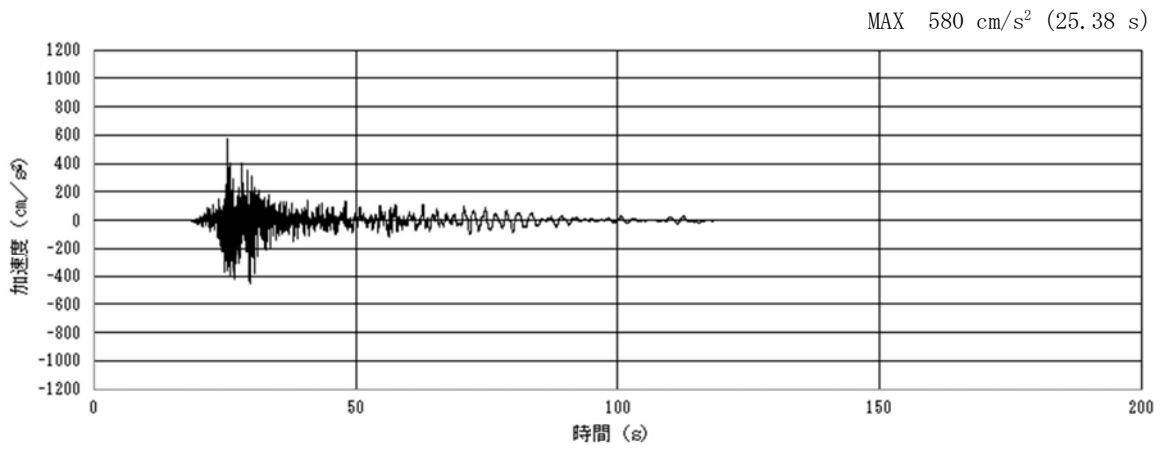


(a) 加速度時刻歴波形

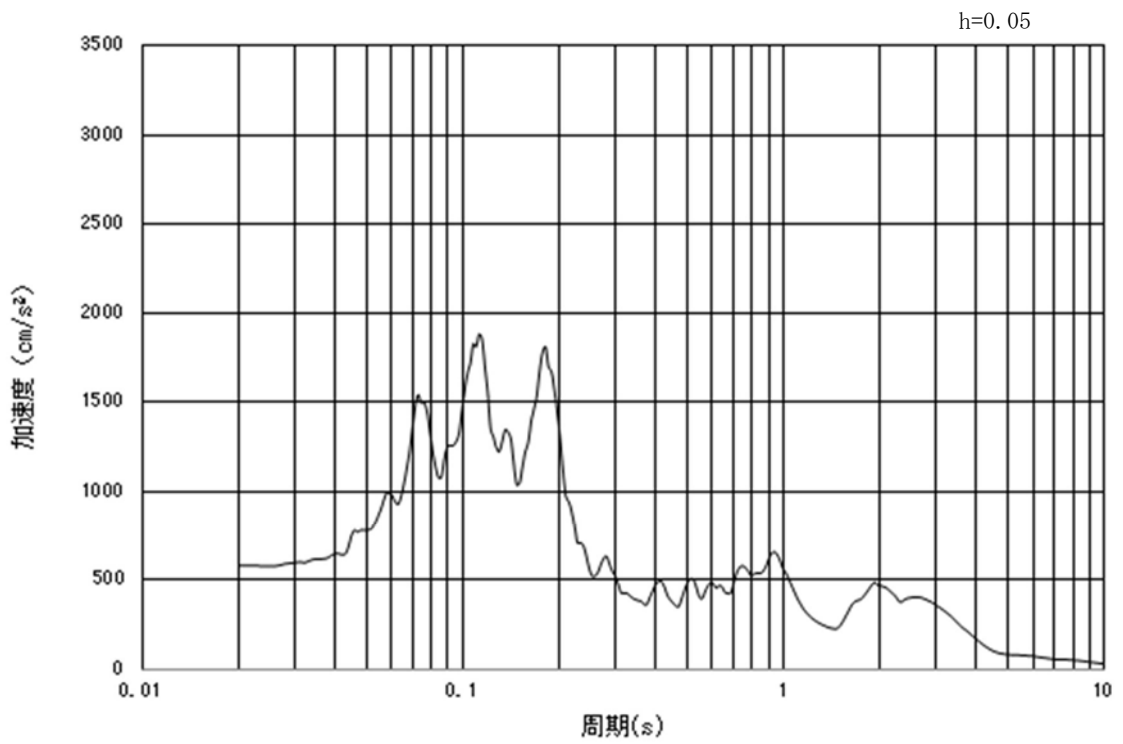


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-12 UD 成分 (EW 方向))

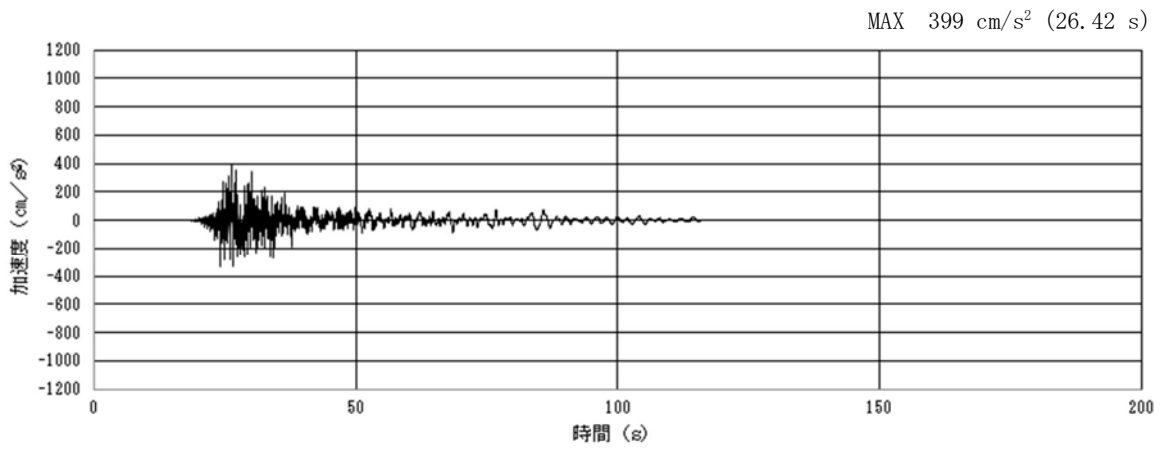


(a) 加速度時刻歴波形

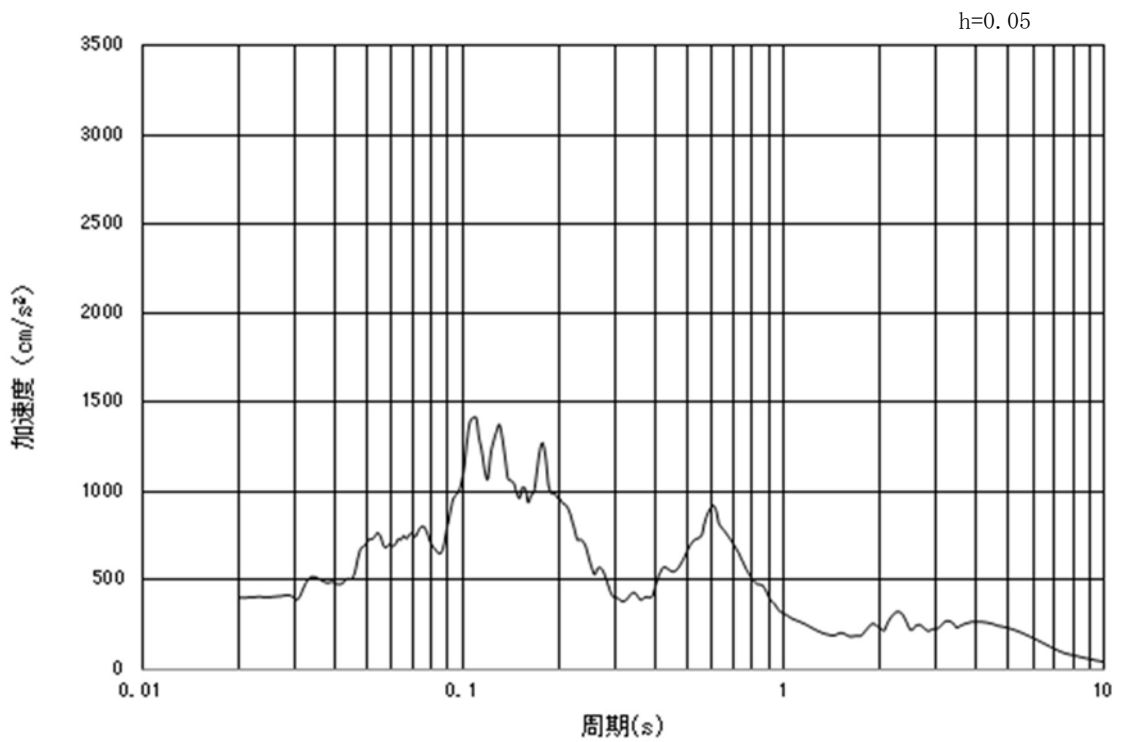


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-13 NS 成分)

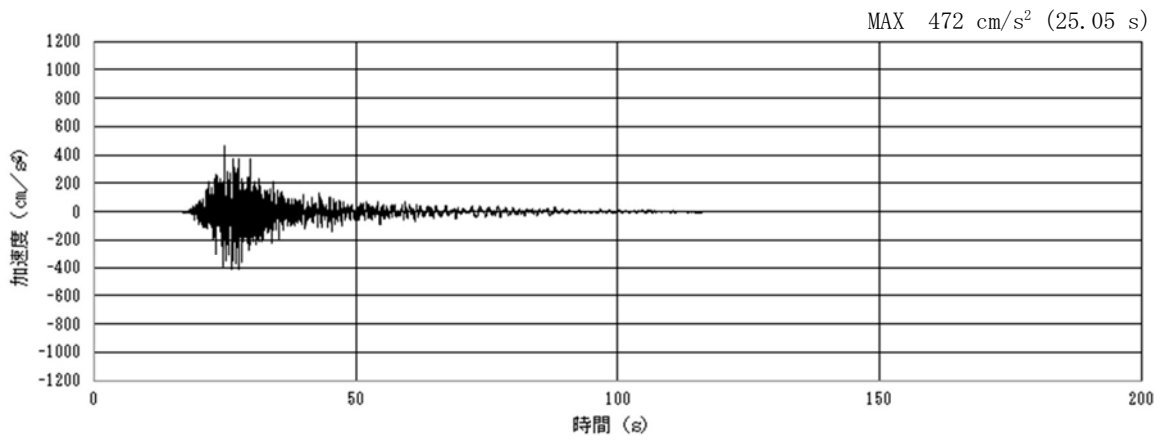


(a) 加速度時刻歴波形

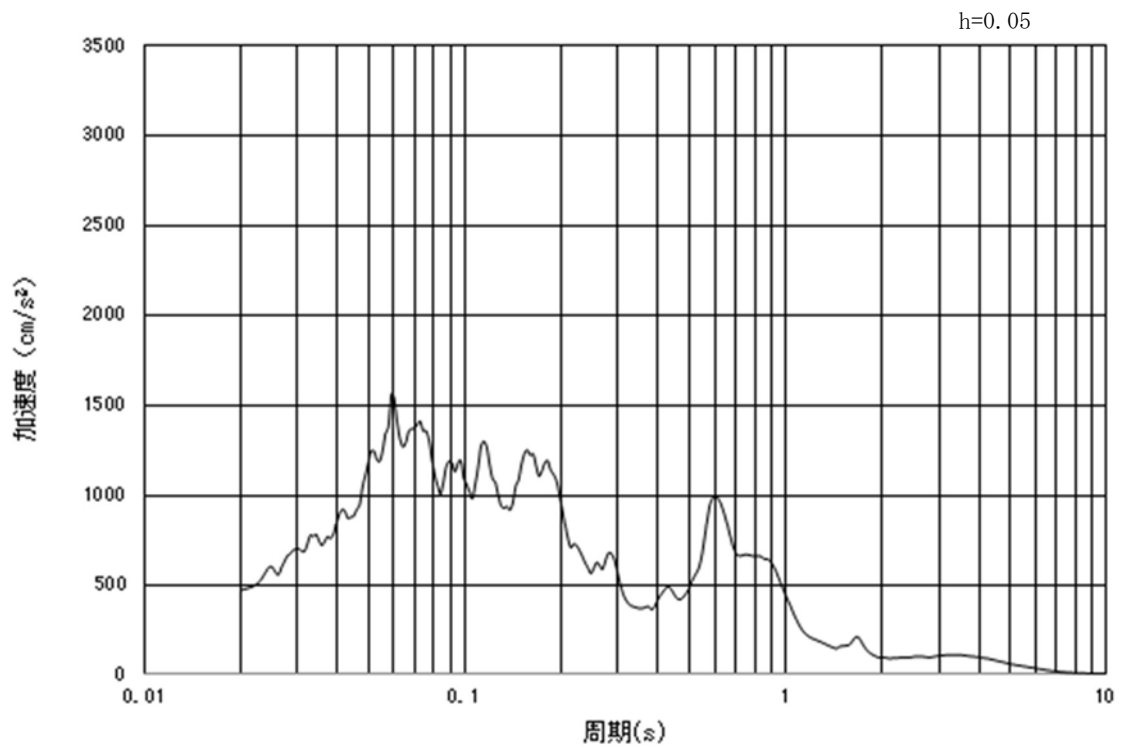


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-13 EW 成分)

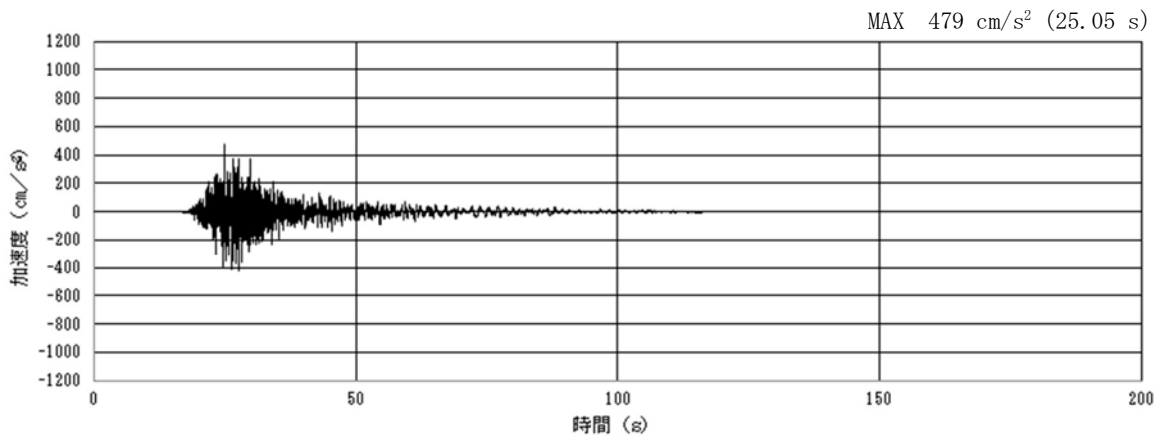


(a) 加速度時刻歴波形

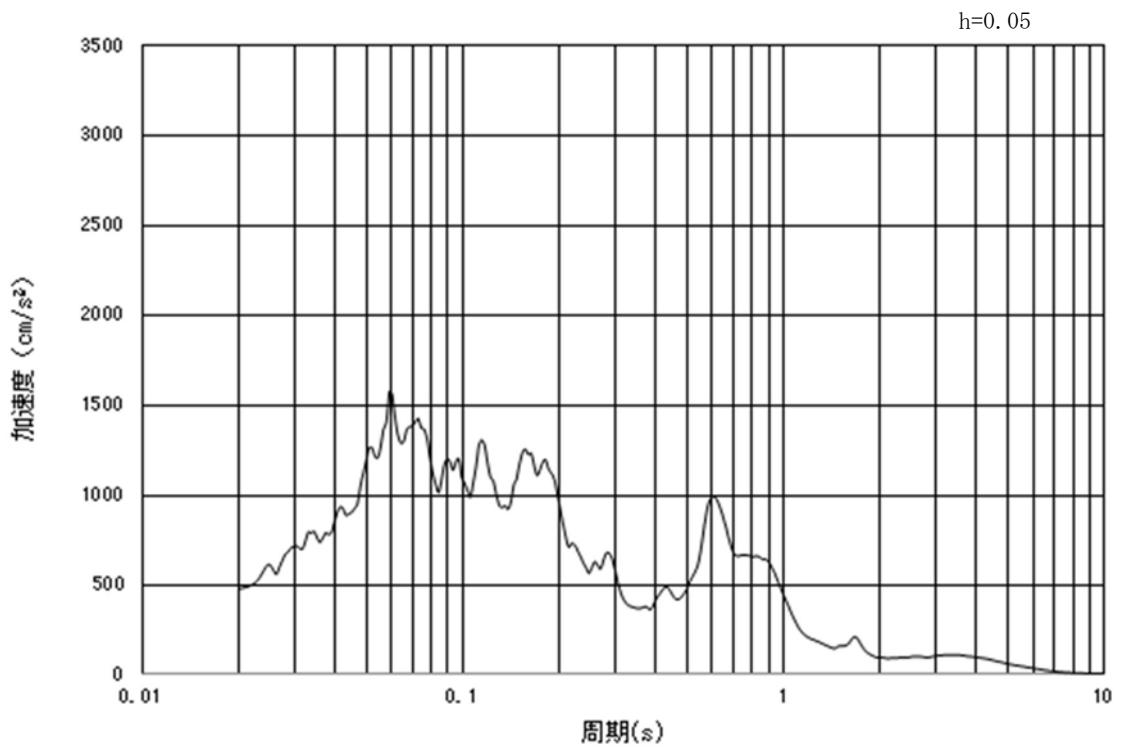


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-13 UD 成分 (NS 方向))

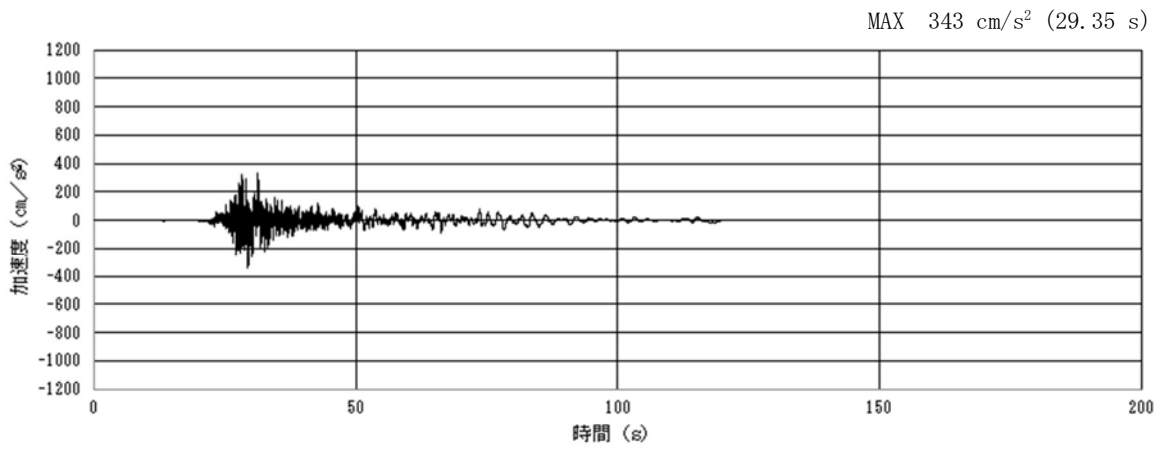


(a) 加速度時刻歴波形

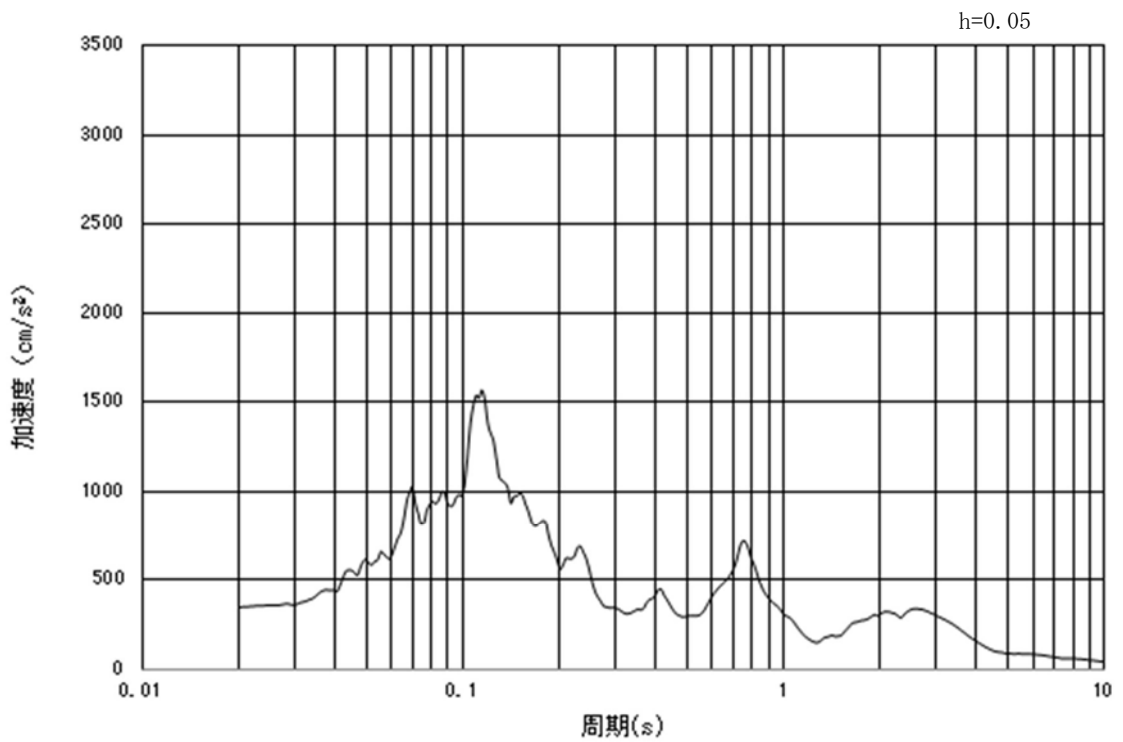


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-13 UD 成分 (EW 方向))

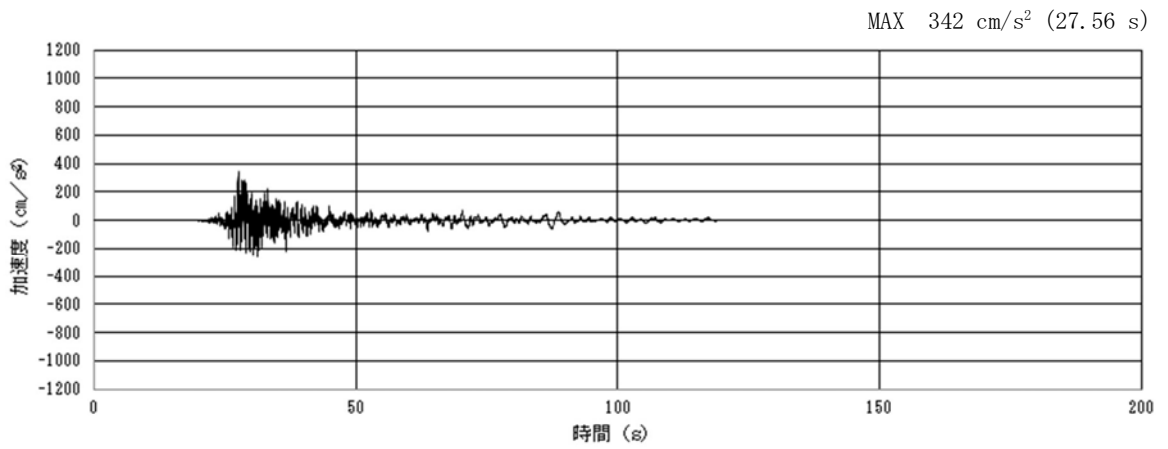


(a) 加速度時刻歴波形

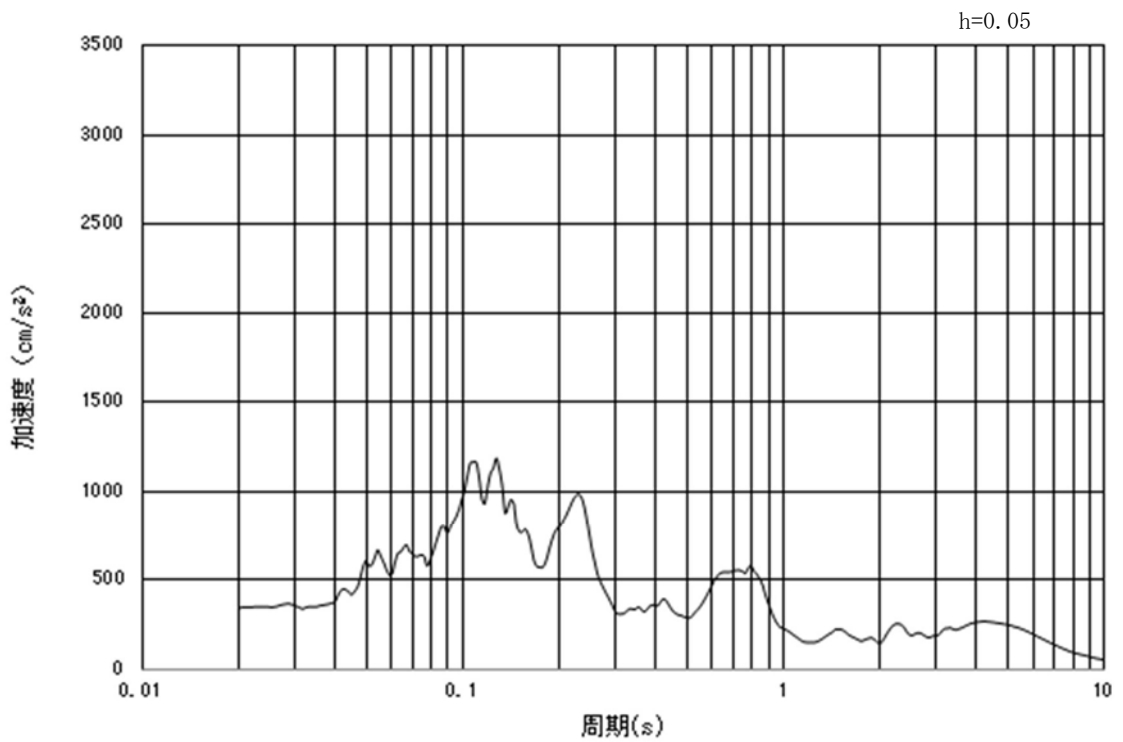


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-14 NS 成分)

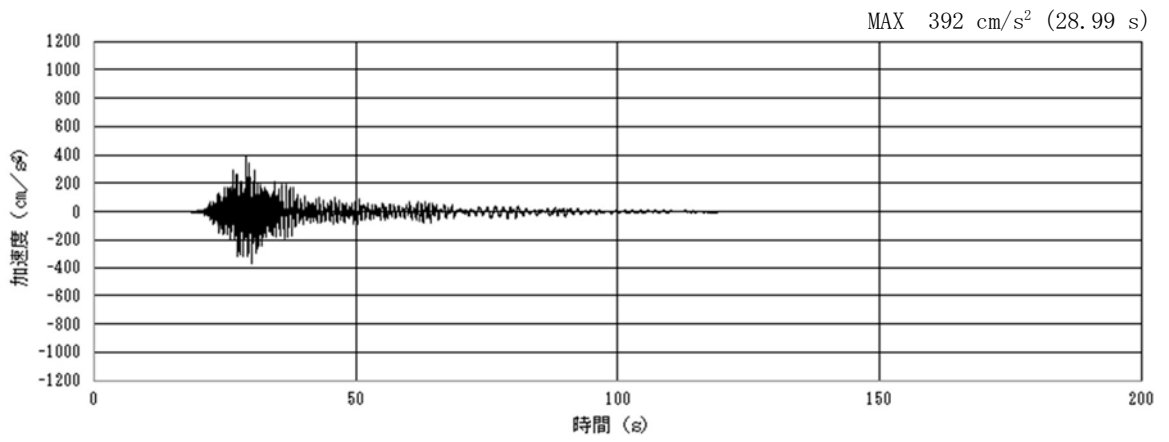


(a) 加速度時刻歴波形

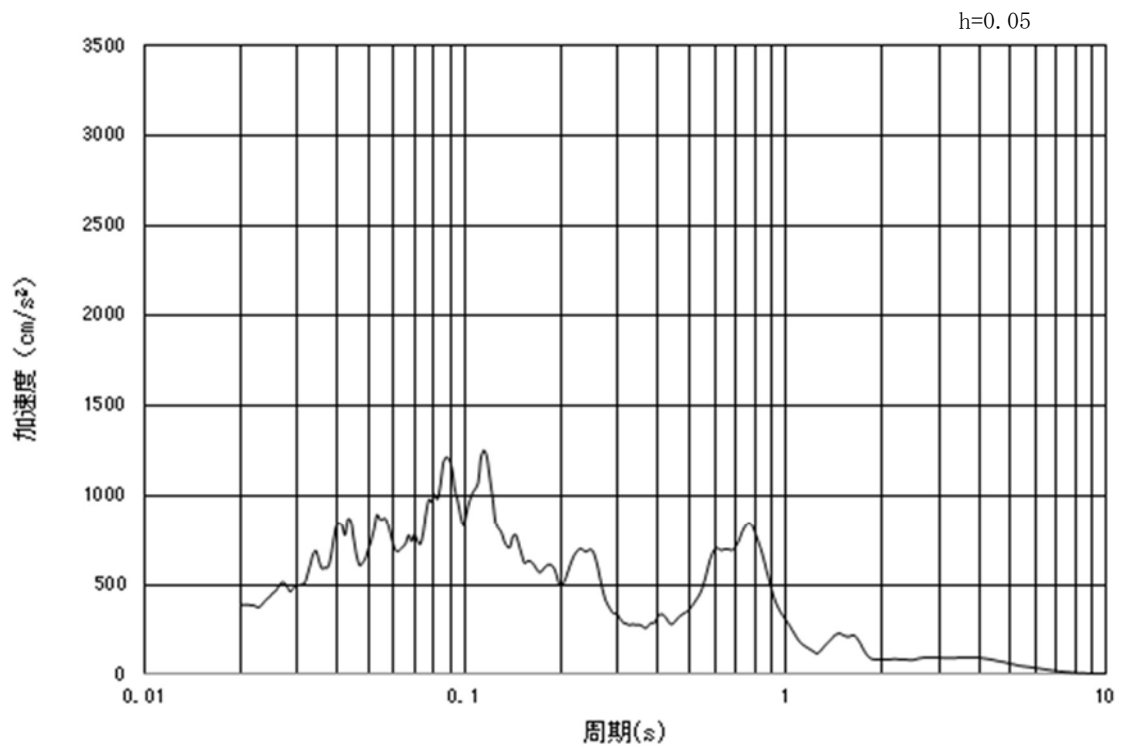


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-14 EW 成分)

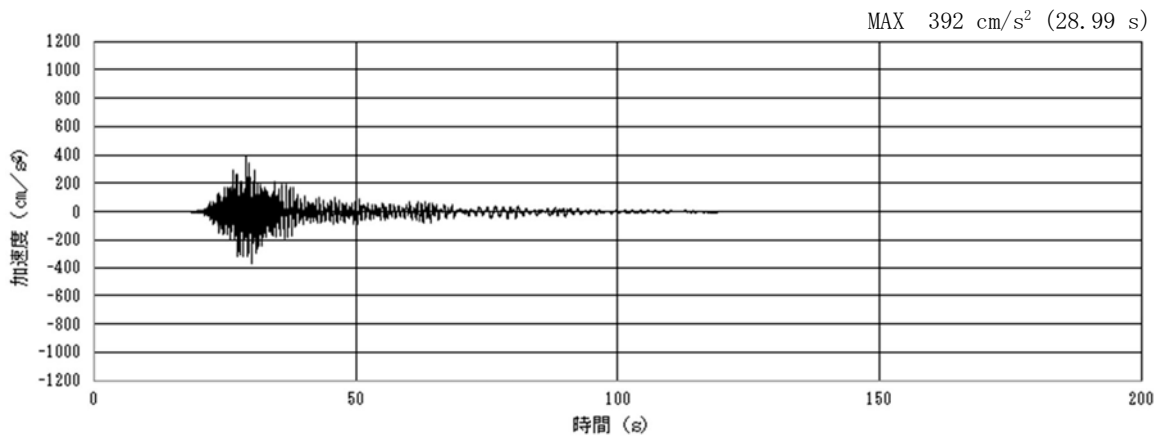


(a) 加速度時刻歴波形

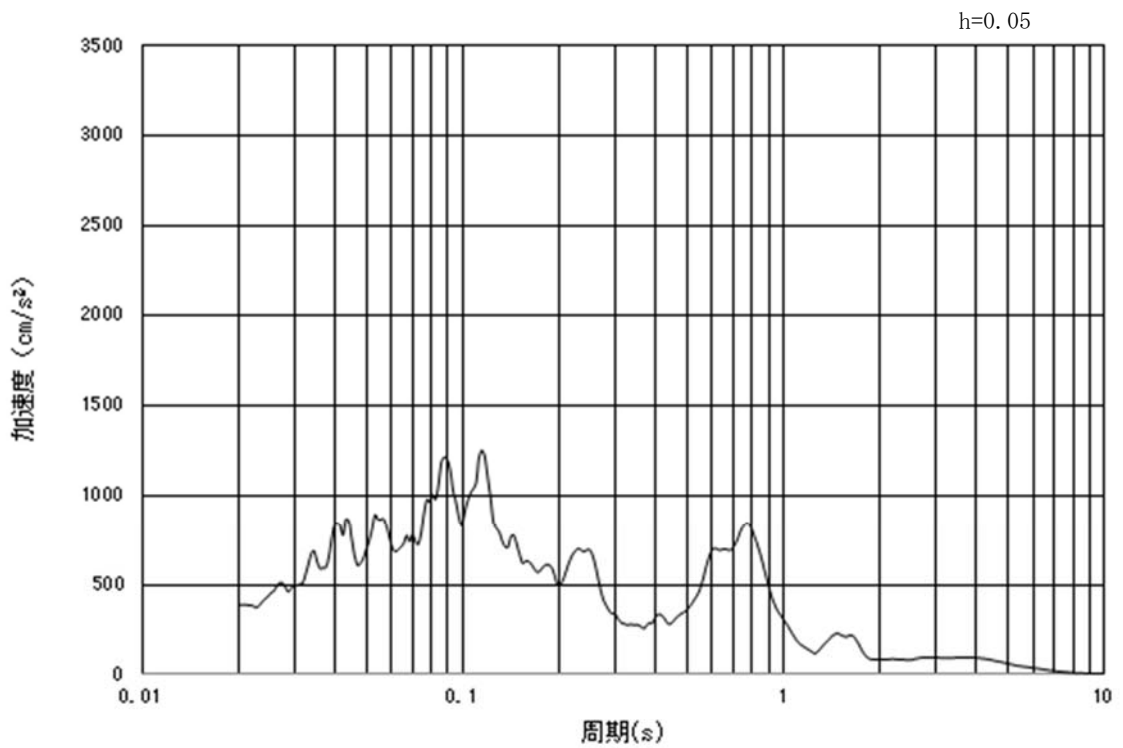


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_s-14 UD成分 (NS方向))

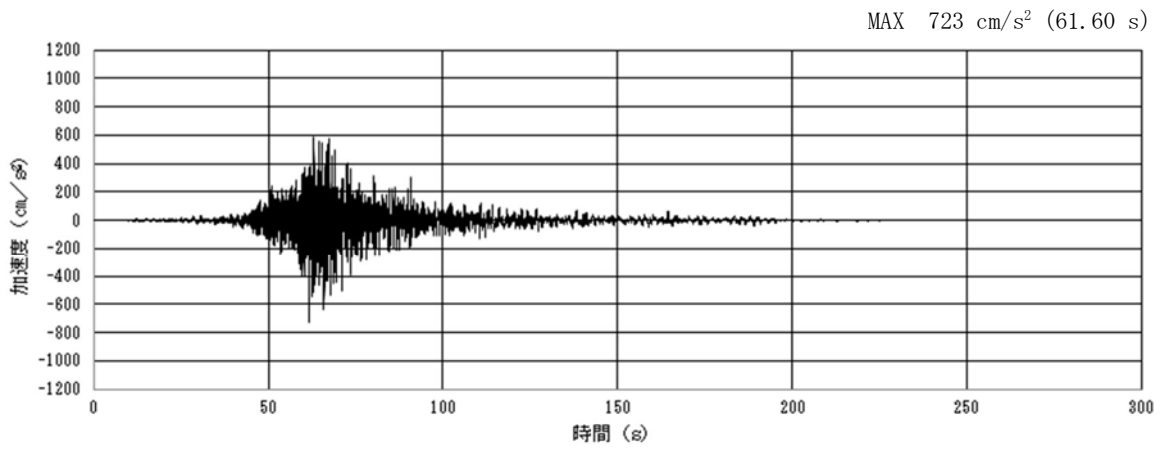


(a) 加速度時刻歴波形

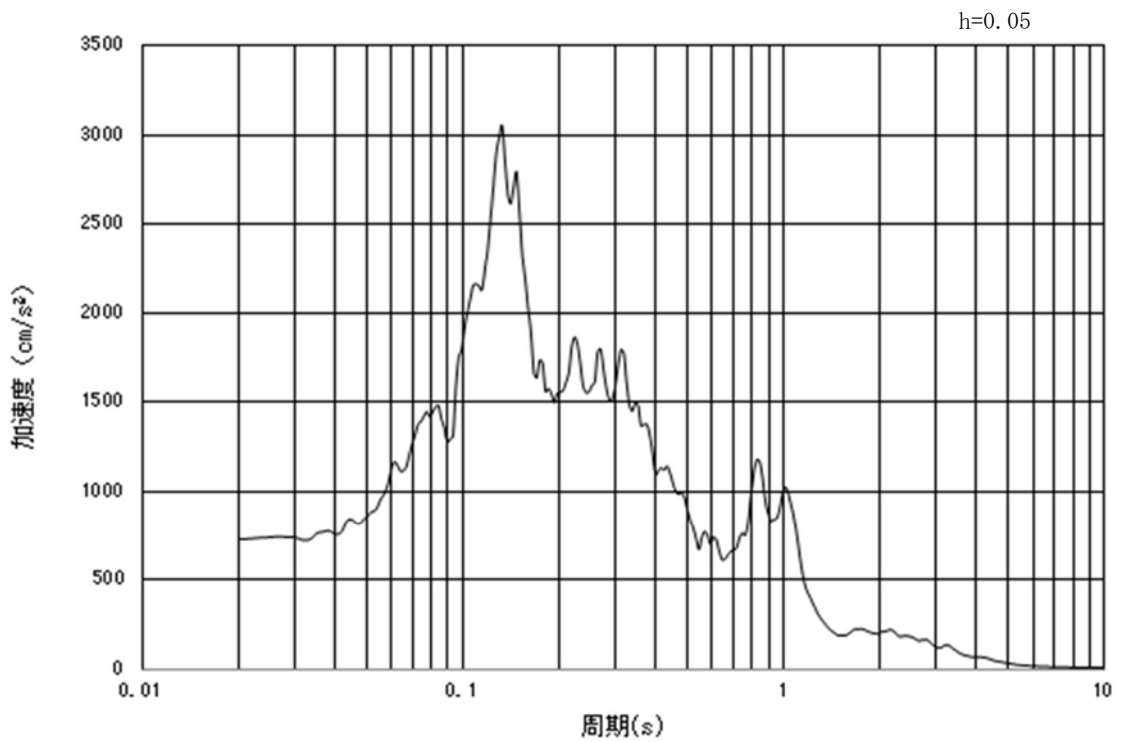


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-14 UD 成分 (EW 方向))

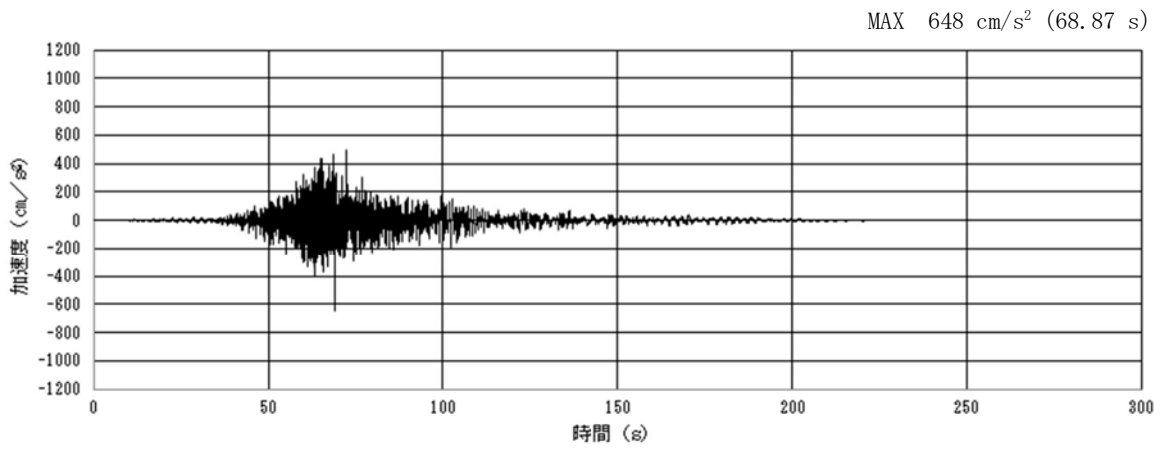


(a) 加速度時刻歴波形

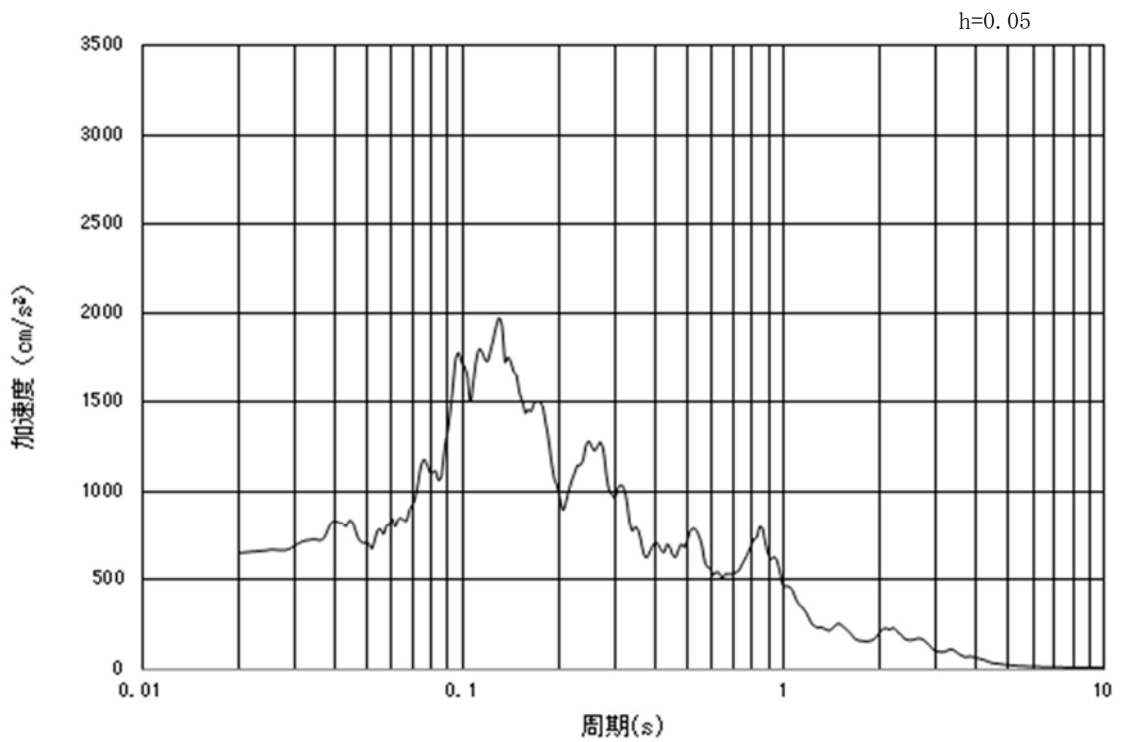


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向: S_s-21 NS 成分)

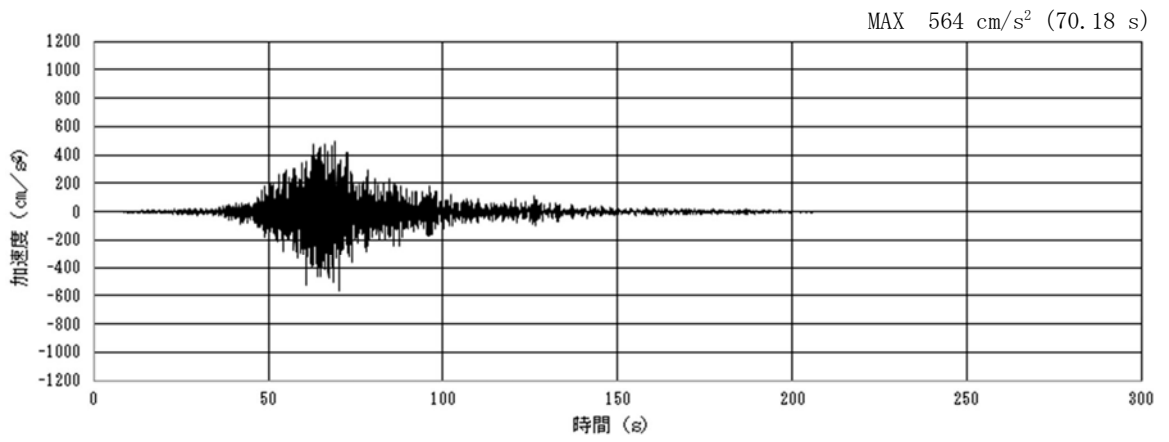


(a) 加速度時刻歴波形

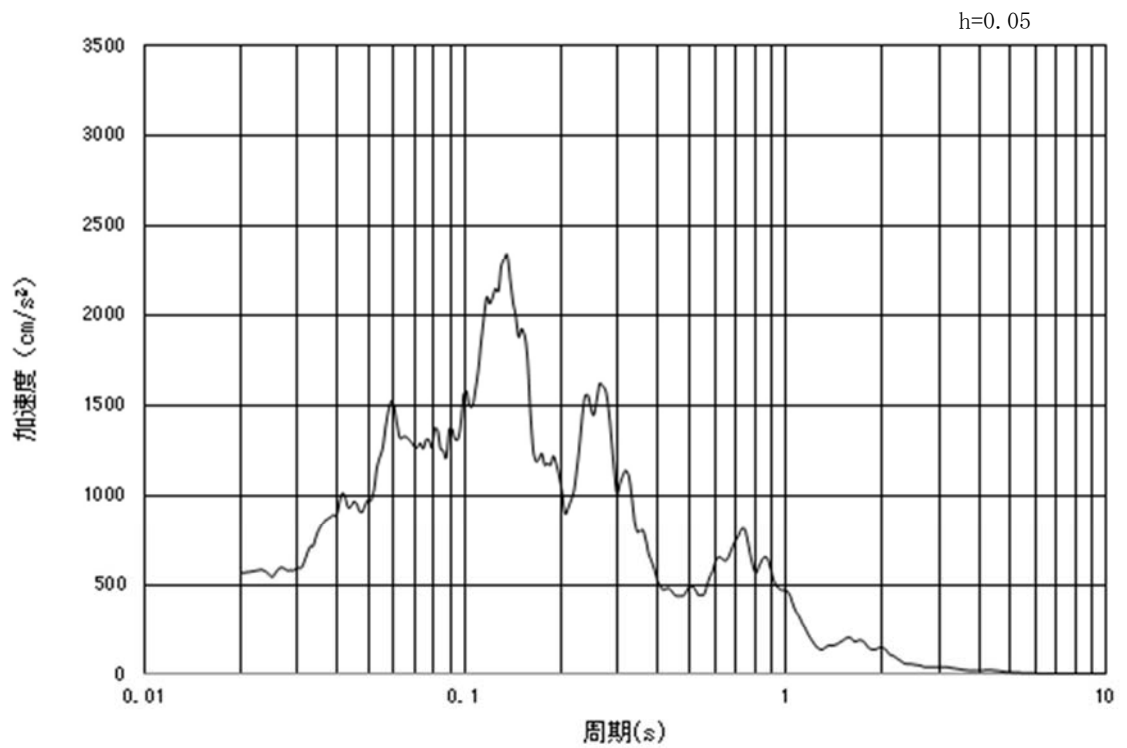


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-21 EW 成分)

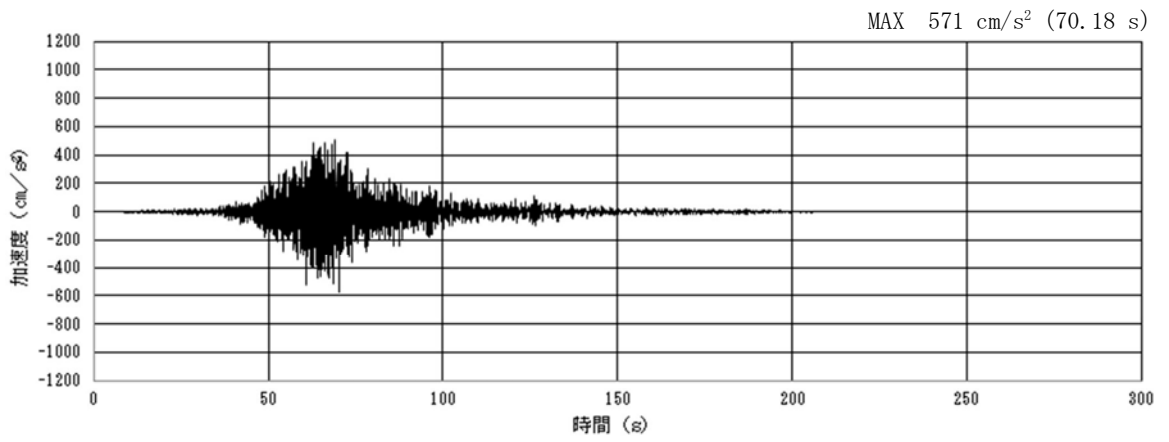


(a) 加速度時刻歴波形

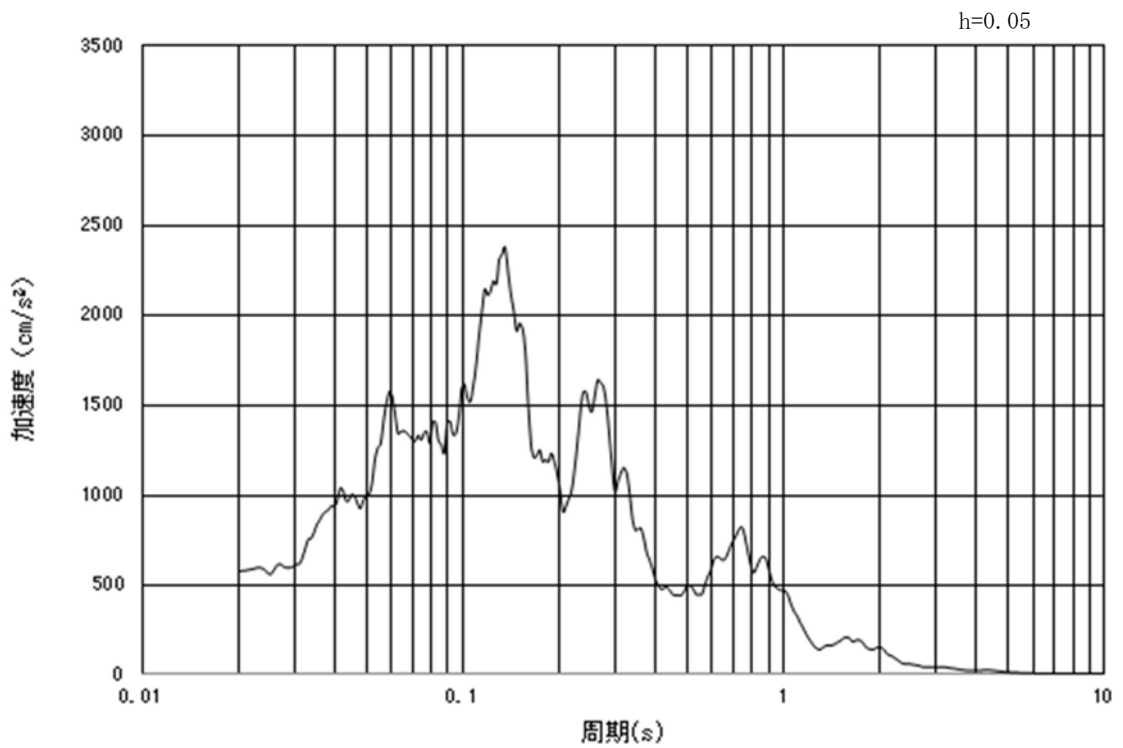


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-21 UD 成分 (NS 方向))

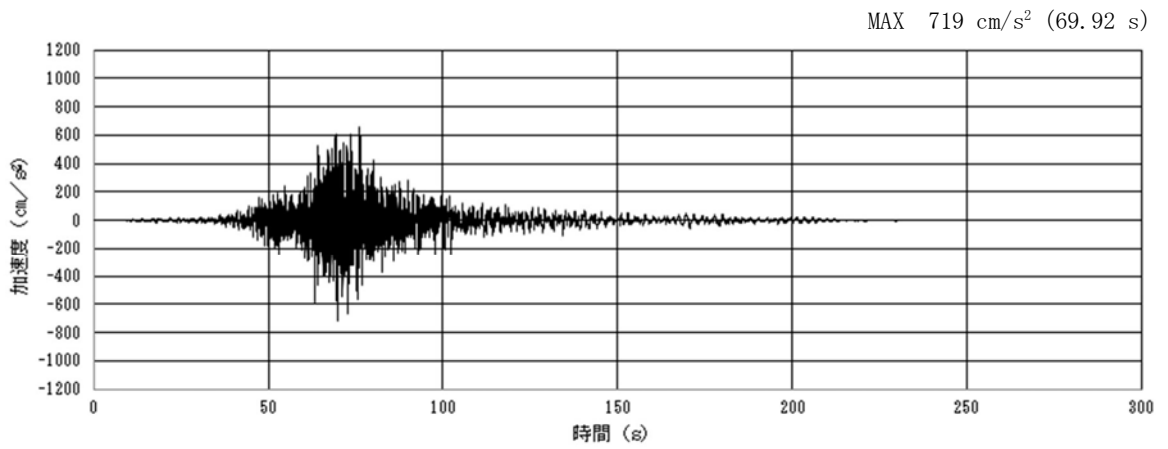


(a) 加速度時刻歴波形

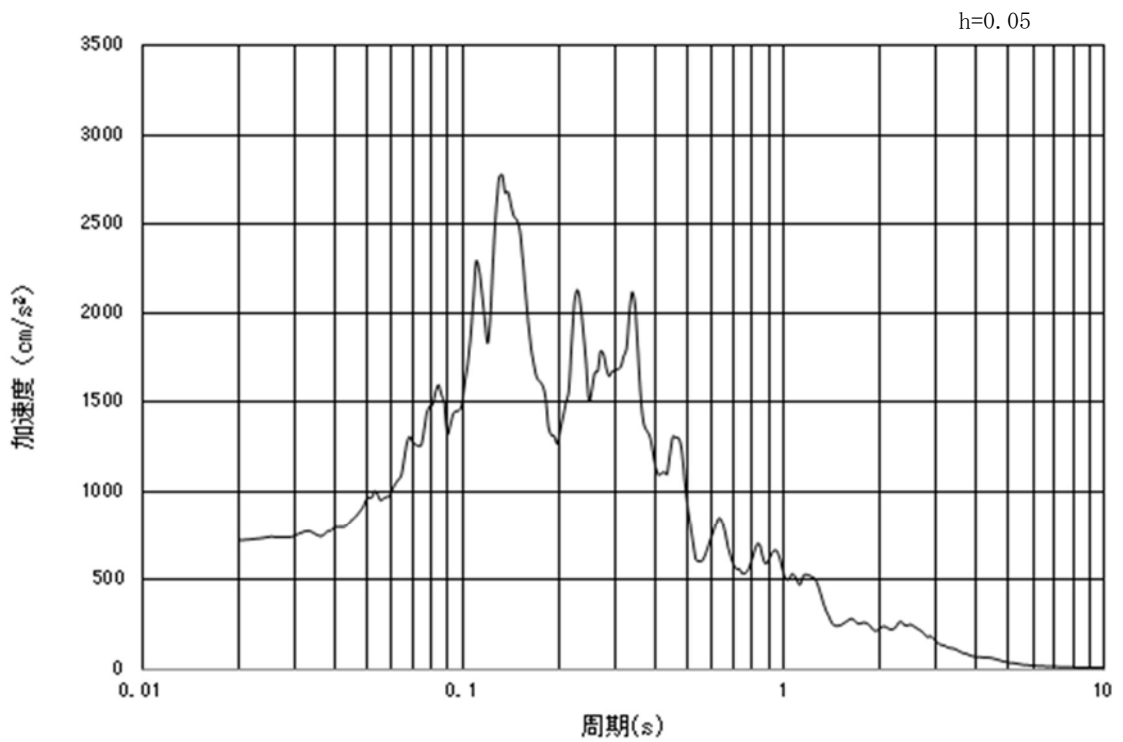


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-21 UD 成分 (EW 方向))

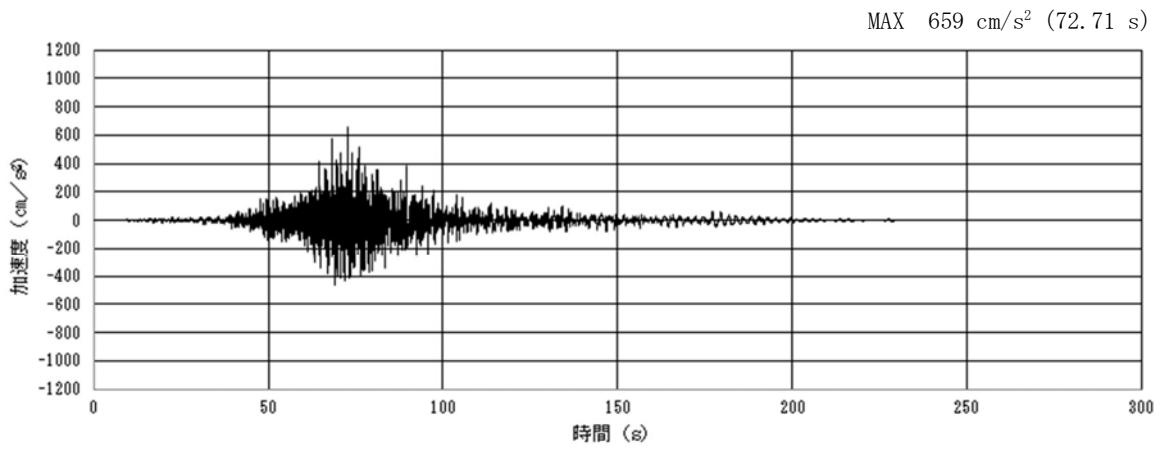


(a) 加速度時刻歴波形

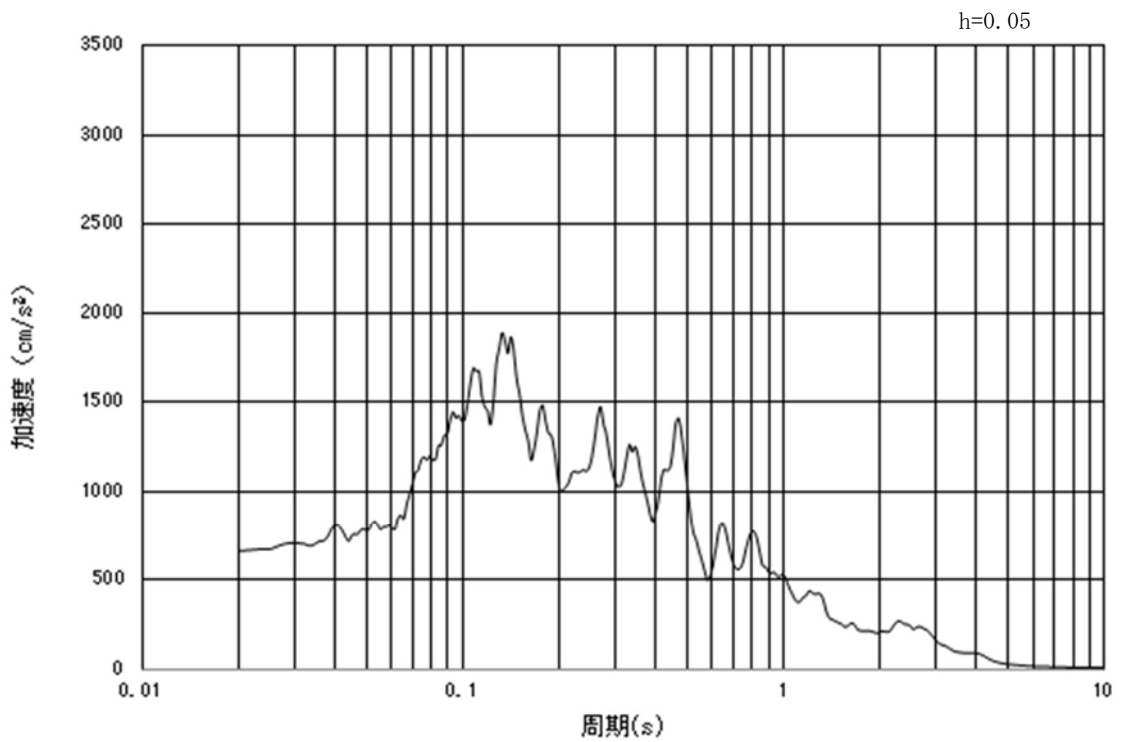


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-22 NS 成分)

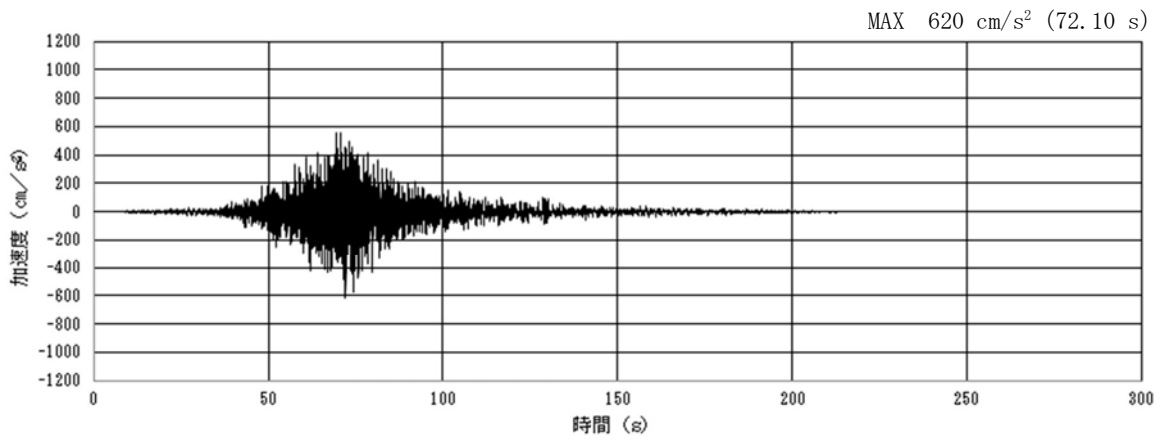


(a) 加速度時刻歴波形

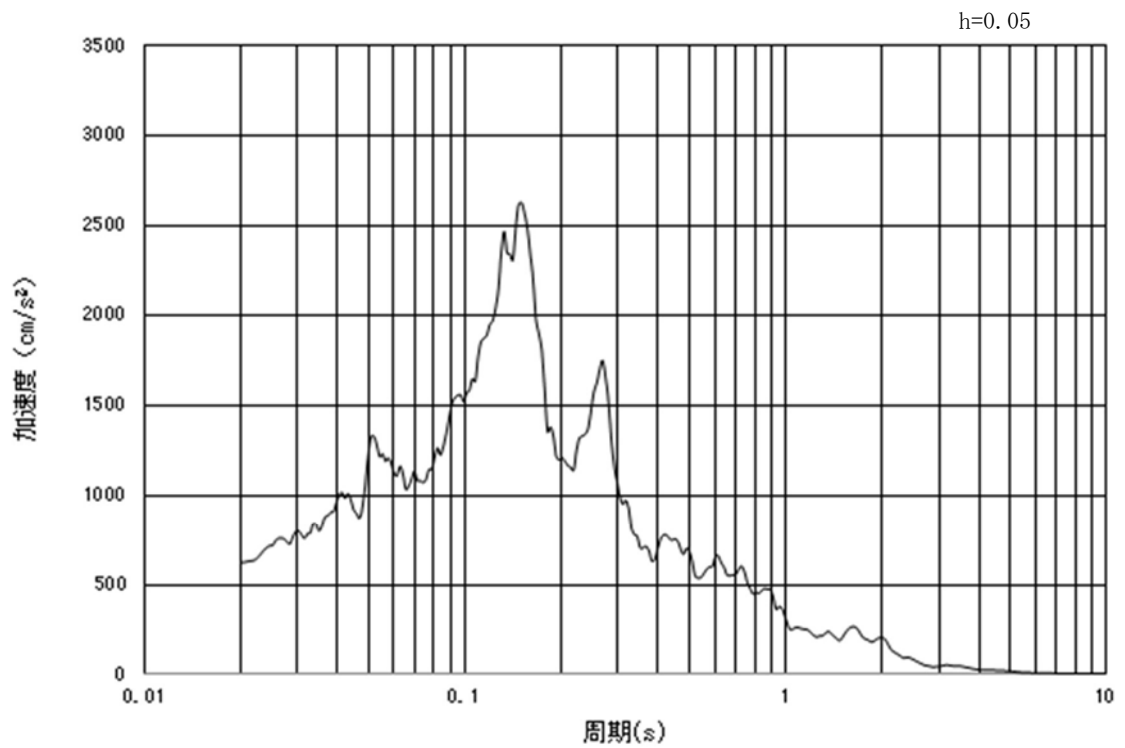


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-22 EW 成分)

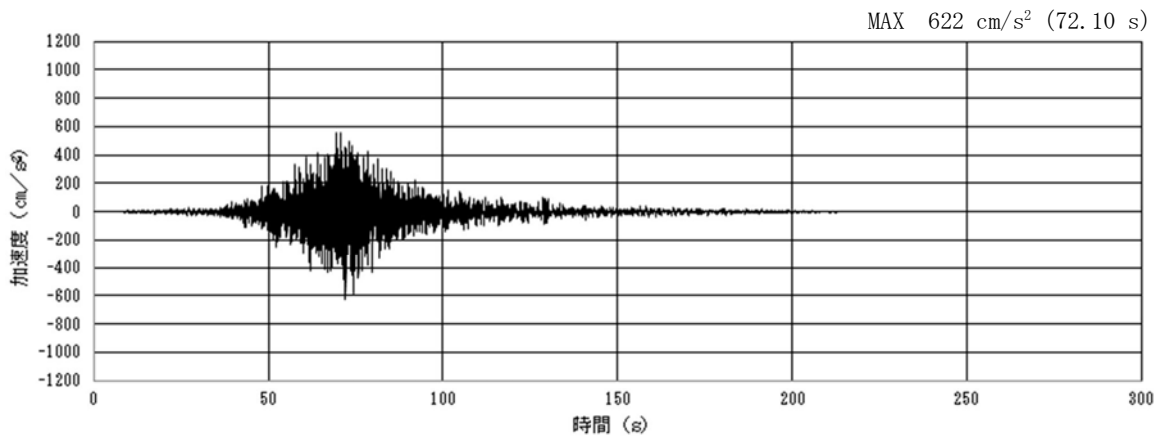


(a) 加速度時刻歴波形

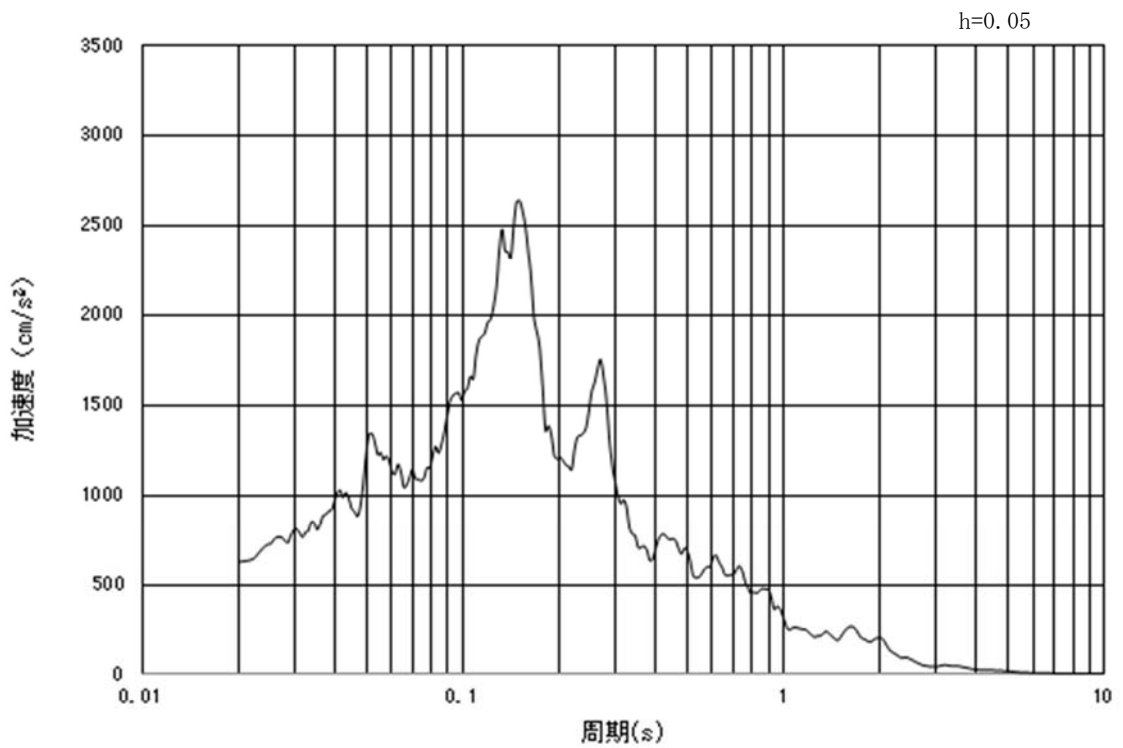


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-22 UD 成分 (NS 方向))

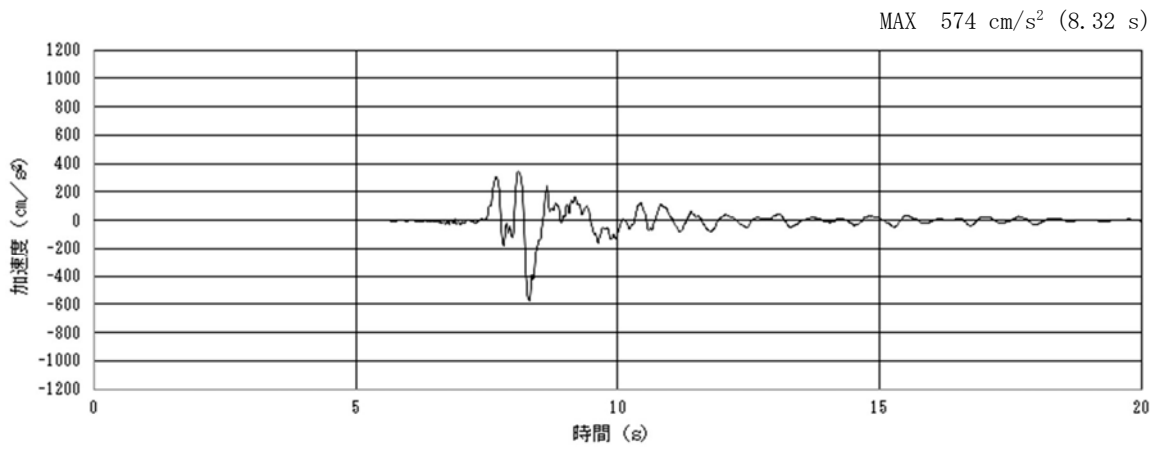


(a) 加速度時刻歴波形

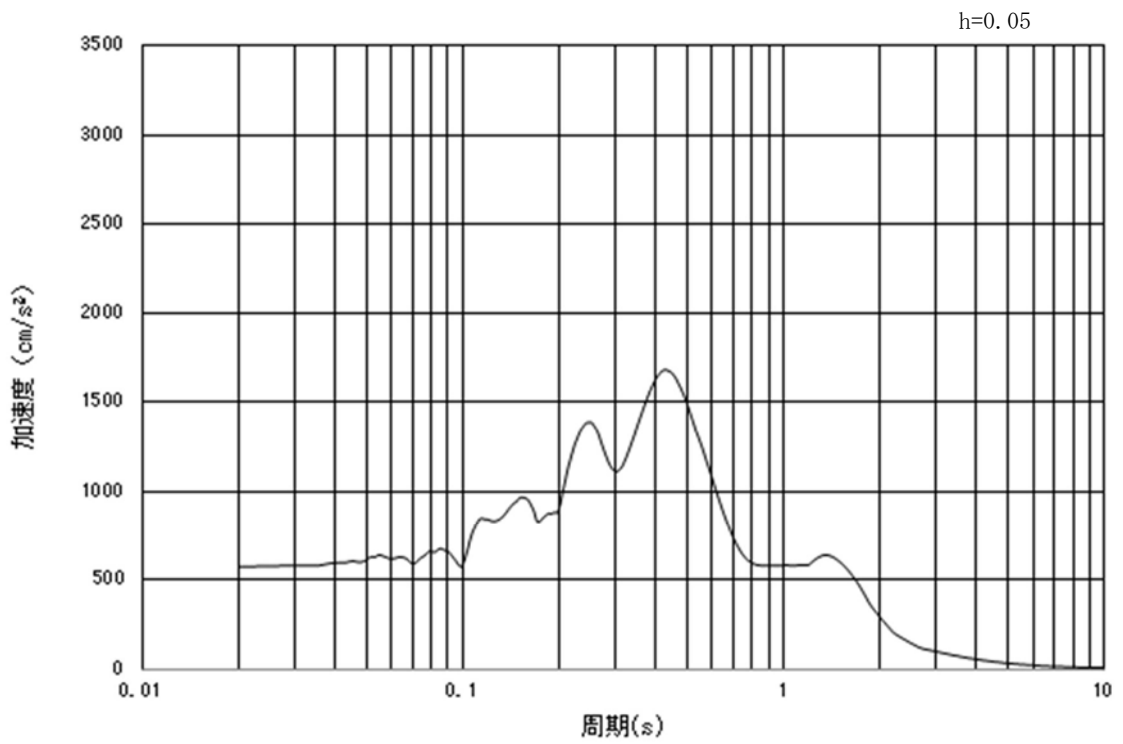


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向: S_s-22 UD 成分 (EW 方向))

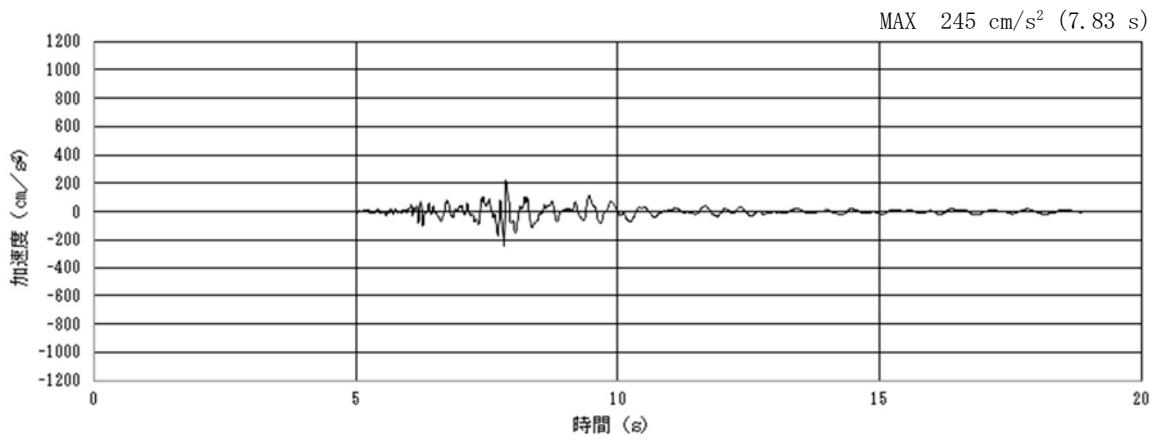


(a) 加速度時刻歴波形

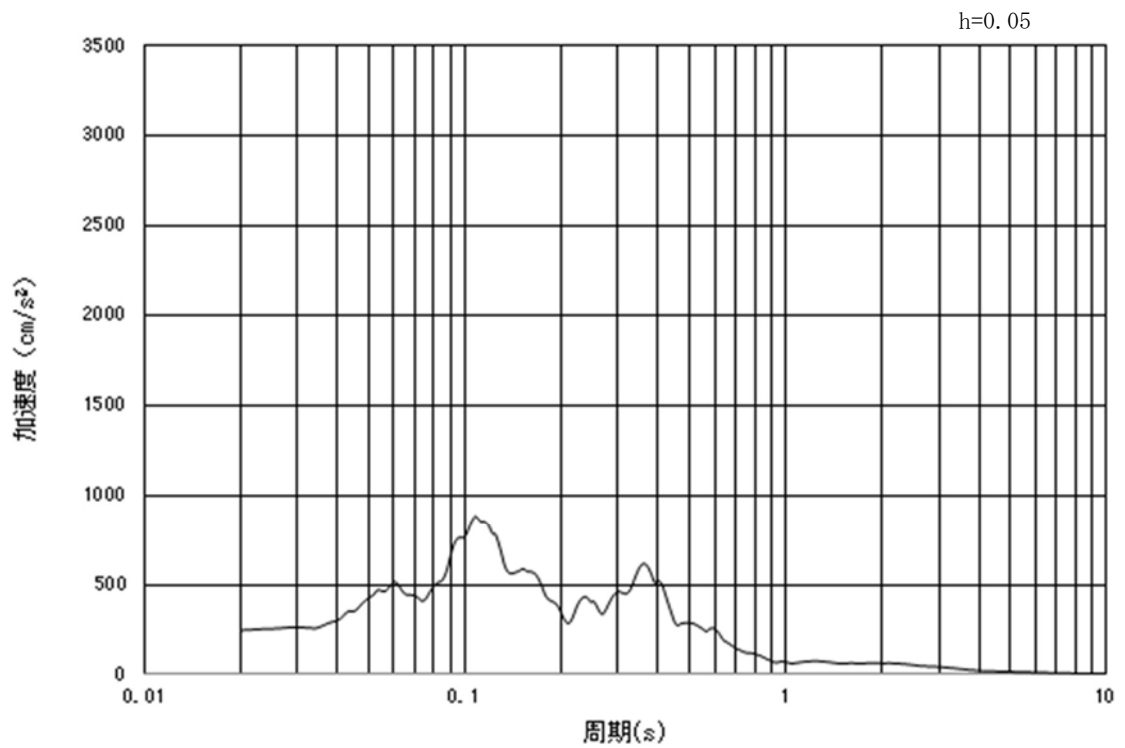


(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (27) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_s-31)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 2.3-2 (28) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_s-31)

2.3.2 許容限界の設定

(1) 曲げに対する許容限界

a. 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材の曲げに対する照査は、全塑性モーメントを許容限界とする。具体的には、全塑性モーメント相当として、土木学会マニュアルに基づき、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応する曲率（以下、「限界曲率」という。）を許容限界とし、照査用曲率が限界曲率を下回ることを確認する。図 2.3-3 に限界曲率と全塑性モーメントの関係を示す。

土木学会マニュアルでは、曲げ系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみが 1%の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

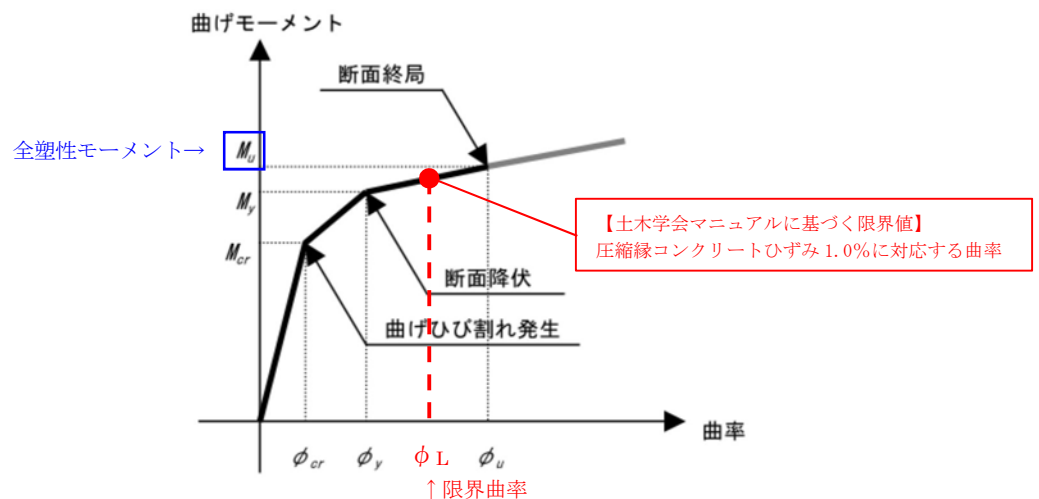


図 2.3-3 限界曲率と全塑性モーメントの関係

鉄筋コンクリート部材の曲げ照査に用いる照査用曲率は、地震応答解析により得られた曲率に安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\phi_d}{\phi_L} \leq 1.0$$

γ_i = 構造物係数 (=1.0)

ϕ_L = 鉄筋コンクリート部材の限界曲率（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%に対応）

$$\phi_d = \gamma_a \cdot \phi$$

γ_a = 構造解析係数 (=1.2)

ϕ = 応答計算による最大曲率

b. 鋼管杭

鋼管杭の曲げに対する照査は、全塑性モーメントを許容限界とする。具体的には、全塑性モーメント相当として、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 J E A C 4 6 1 6 -2009 及び鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] ((社) 土木学会, 2008 年制定) に基づき、鋼管杭の終局曲率を許容限界とし、照査用曲率が終局曲率を下回ることを確認する。

鋼管杭の曲げ照査に用いる照査用曲率は、地震応答解析により得られた曲率に安全係数 (構造解析係数) 1.05 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\phi_d}{\phi_u} \leq 1.0$$

$$\gamma_i = \text{構造物係数} (=1.0)$$

$$\phi_d = \gamma_a \cdot \phi$$

$$\gamma_a = \text{構造解析係数} (=1.05)$$

$$\phi = \text{応答計算による最大曲率}$$

杭体の終局曲率 ϕ_u は下記式より算出する。

$$\phi_u(N) = \varepsilon_{\max} / [r \cdot \{1 + \sin(\pi N / 2N_y)\}] / \gamma_b \quad (N < 0 : \text{引張}, N > 0 : \text{圧縮})$$

ここに、

ε_{\max} : 局部座屈発生時ひずみ

$$\varepsilon_{\max} = 0.22t/r$$

ここに、 t : 腐食しろを除いた鋼材の厚さ

r : 杭の半径

N : 発生軸力

N_y : 鋼材降伏時の軸力

$$N_y = 2\pi r t \sigma_y$$

ここに、 σ_y : 鋼材の降伏点応力

γ_b : 部材係数 (=1.1)

(2) せん断に対する許容限界

a. 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材のせん断に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、
(a) 棒部材式及び(b) ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、 V_{cd} コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm²) となる場合は $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm²)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

f'_{cd} :コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm²) で設計基準強度 f_{ck} を材料係数 γ_{mc} (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s(b_w/d)$:引張鉄筋比

A_s :引張側鋼材の断面積

b_w :部材の有効幅

d :部材の有効高さ

N'_d :設計軸圧縮力

M_d :設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D/6$: M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

D :断面高さ

a/d :せん断スパン比

γ_{bc} :部材係数 (=1.3)

$$V_{vcd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度を材料係数 γ_{ms} (1.0) で除したもので、
400N/mm² 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f'_{ck}
が 60N/mm² 以上の時は、800N/mm² 以下とする。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角

s : せん断補強筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$
とする。

γ_{bs} : 部材係数 (=1.1)

(b) デイープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで、 V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f_{cd}'}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$$

γ_{bc} : 部材係数 (=1.3)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \phi \leq 1$$

p_{wb} : せん断補強鉄筋比 (%)

また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 2.3-4 に示す等価せん断スパンの考え方にに基づき、せん断耐力を算定する。

(c) 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承全面あるいははり・柱前面から曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

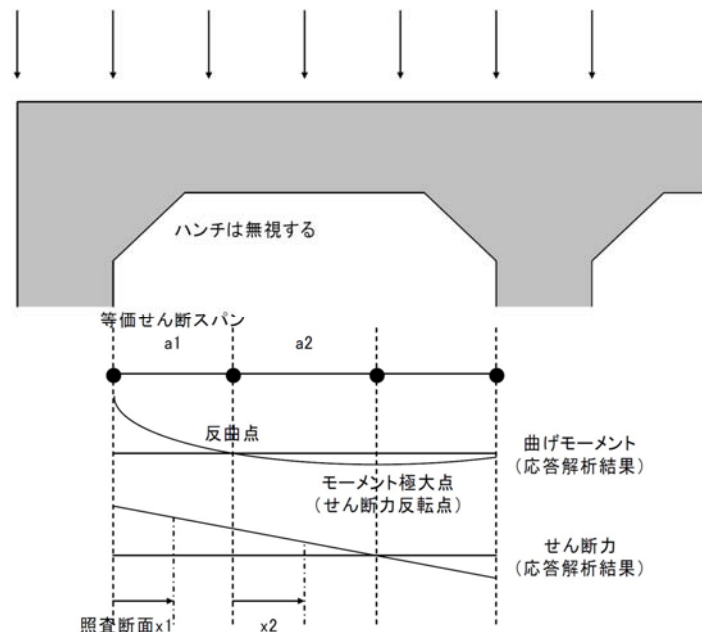
イ. 区間内に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントがゼロ）が存在する場合は、以下の 2 種類の等価せん断スパンを設定する。

第 1 等価せん断スパン(a_1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第 2 等価せん断スパン(a_2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

ロ. 区間内に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントがゼロ）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離



(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (社) 土木学会, 2005 年) より引用)

図 2.3-4 等価せん断スパンの設定方法

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な係数 β_a を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表 2.3-1 に示すとおり、複数の安全係数（部材係数，構造解析係数）が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

表 2.3-1 せん断耐力式において考慮している安全係数

安全係数		値	内容	
部材係数	コンクリート	γ_{bc}	1.30	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	γ_{bs}	1.10	せん断補強筋が負担するせん断力を低減
構造解析係数		γ_a	1.05	応答値（断面力）を割り増し

b. 鋼管杭

鋼管杭のせん断に対する許容限界は、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 J E A C 4 6 1 6 - 2009 及び鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕（(社) 土木学会, 2008 年制定）に基づき、以下の式で求まるせん断耐力とする。

鋼管杭のせん断照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{Q_d}{Q_u} \leq 1.0$$

γ_i = 構造物係数 (=1.0)

$$Q_d = \gamma_a \cdot Q$$

γ_a = 構造解析係数 (=1.05)

Q = 応答計算による最大せん断力

杭体のせん断耐力 Q_u は下記式より算定する。

$$Q_u = A_e \cdot f_s / \kappa / \gamma_b$$

ここに、 A_e : 腐食代を除いた杭の断面積

f_s : 鋼材の短期許容せん断応力度

κ : せん断応力度の分布係数で 2.0 とする。

γ_b : 部材係数 (=1.1)

(3) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に作用する接地圧に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」を考慮し、極限支持力に基づき設定する。

取水構造物の基礎形式は、打込み工法による杭基礎であることから、極限支持力については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）の杭基礎（打ち込み工法）の設計に基づき、以下の通り設定する。

$$R_u = P_u + U \sum L_i f_i$$

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

P_u : 杭先端における極限支持力 (kN)

$$P_u = 440 \cdot q_u^{1/2} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3}$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A_t : 鋼管杭の先端純断面積 (m²)

A_i : 鋼管杭の先端閉塞面積 (m²)

A : 鋼管杭の先端面積 (m²)

U : 杭の周長 (m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m²)

2.4 評価結果 (追而)

2.5 まとめ (追而)

取水構造物の耐震安全性評価に関する参考資料

1. 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について (追而)
2. せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について (追而)
3. 鋼管杭の照査に係る J E A C 4 6 1 6 - 2009 の適用性について
4. 安全上適切と認められる規格及び基準を用いた評価結果について (追而)
5. 地質断面図について (追而)
6. 物性のばらつきに関する影響検討について (追而)
7. 減衰の設定について (追而)
8. 縦断方向の解析について (追而)
9. 静的地震力に対する耐震安全性評価 (追而)
10. 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について
11. バルブ室における側壁の耐震評価 (追而)

3. 鋼管杭の照査に係る J E A C 4 6 1 6 - 2009 の適用性について

取水構造物における鋼管杭の耐震評価では、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規定 J E A C 4 6 1 6 - 2009 に基づき算定した終局曲率及びせん断耐力を許容限界としている。

本項では、J E A C 4 6 1 6 - 2009 における「第 1 章 適用範囲」の記載等に対し、取水構造物における鋼管杭の適用性を確認する。

(1) 対象とする建屋

本規程は、「金属製乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵施設のための安全審査指針」(原子力安全委員会) (以下、「貯蔵施設安全審査指針」という。) で規定される使用済燃料貯蔵施設における中間貯蔵建屋 (以下、「中間貯蔵建屋」という。) の基礎構造の設計に適用する。

【解 説】

また、本規程の技術的な内容は、建物の重量、剛性等の構造特性が同等の他の施設の基礎構造の設計において参考にすることができる。

取水構造物は、中間貯蔵建屋と同じく基準地震動 S_s に対して設計された鉄筋コンクリート構造物であり規模も概ね同等であることから、その基礎構造の設計において、J E A C 4 6 1 6 - 2009 を参考にすることができる考える。

(2) 対象とする基礎形式

本規程で対象とする基礎形式は、杭基礎、及び直接基礎の 2 種類とする。何れの基礎形式においても、支持地盤としては、基準地震動 S_s に対して液状化の恐れがなく、中間貯蔵建屋を構造耐力上安全に支持し得る地盤を選定する。

【解 説】

基準地震動 S_s に対して液状化の恐れがなく、中間貯蔵建屋を構造耐力上安全に支持しうる地盤としては、地質時代区分の観点から見ると、第三紀の地盤又は第三紀より古期の地盤・岩体、及び第四紀の地盤 (十分な支持力のある更新統) が相当する。

取水構造物は、新第三系 (久米層) を支持地盤とした杭基礎構造であることから、J E A C 4 6 1 6 - 2009 の適用範囲内であると考えられる。

以上より、取水構造物における鋼管杭の照査に係る J E A C 4 6 1 6 - 2009 の適用性を確認した。

10. 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について

取水構造物の地震応答解析では、鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭を非線形はり要素にてモデル化している。この非線形特性として、鉄筋コンクリート部材における非線形特性（ $M-\phi$ 関係）にトリリニアモデル（修正武田モデル）を、鋼管杭における非線形特性（ $M-\phi$ 関係）にバイリニアモデルを適用しているが、有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされる。

よって、本項では、基準地震動 S_s を入力とした地震応答解析による各部材の軸力及び曲げモーメントの変動範囲を踏まえた上で、それが部材の非線形特性に与える影響を検討し、取水構造物の耐震評価において軸力が一定とされる有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」の当該非線形特性を用いることの妥当性を検討する。

部材の軸力変動範囲を確認するための解析ケースを以下に示す。

- ・入力地震動： S_s-D1 （++）
- ・検討ケース：①原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）
- ・解析断面：④-④断面（取水ピット区間）
- ・確認対象部材：図10-1に示す通り。



図10-1 軸力及び曲げモーメントの変動範囲の確認対象部材

図10-2にて、鉄筋コンクリート部材における軸力及び曲げモーメントの変動範囲と、当該部材の M_u （終局モーメント）- N （軸力）関係及び M_y （降伏モーメント）- N （軸力）関係を比較した。また、同図には、FLIPにて非線形特性として用いられている M_u 及び M_y の設定根拠である常時応力解析による当該部材の軸力をプロットしている。

基準地震動 S_s による応答結果によると、地震時の鉄筋コンクリート部材における軸力の変動範囲は限定的であり、概ね常時応力解析における軸力と同等の範囲に収まっている。また、部材に発生する曲げモーメントは M_y （降伏モーメント）以下であり、概ね弾性範囲内に収まっている。

以上より、鉄筋コンクリート部材において、軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響は軽微であり、耐震評価において軸力が一定とされる有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」の当該非線形特性を用いることは妥当であると考えられる。

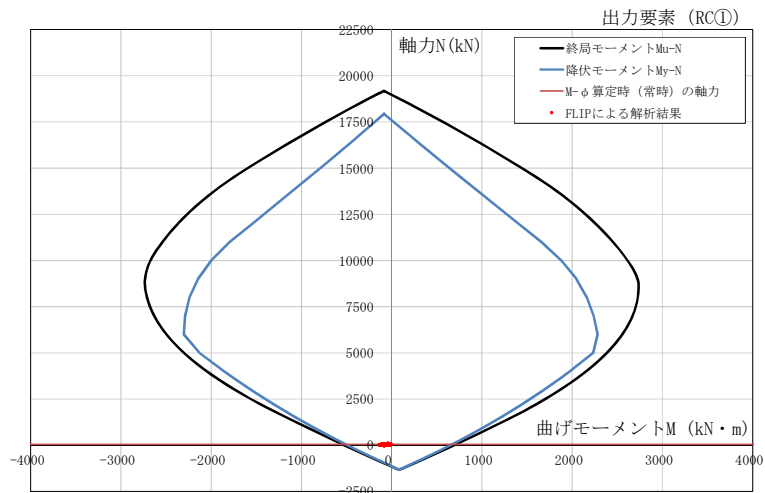


図 10-2 (1) 基準地震動 S_s による取水構造物の部材の応答範囲 (RC①)

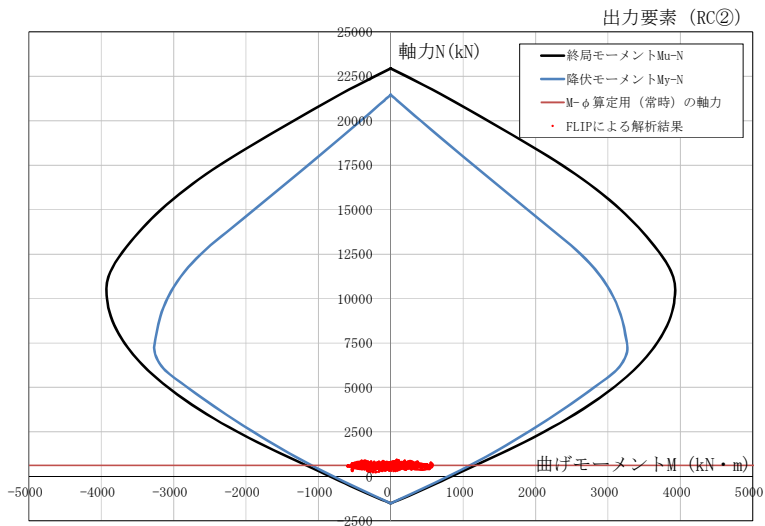


図 10-2 (2) 基準地震動 S_s による取水構造物の部材の応答範囲 (RC②)

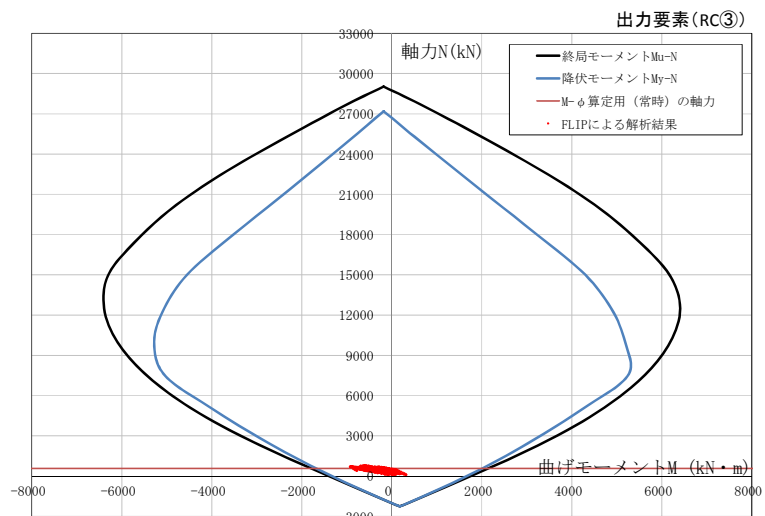


図 10-2 (3) 基準地震動 S_s による取水構造物の部材の応答範囲 (RC③)

(参考) 2-3

また、同様の地震応答解析結果を参照し、鋼管杭における軸力変動範囲を把握した上で、その変動が非線形特性（バイリニアモデル）における M_p （全塑性モーメント）にどの程度影響するかを検討した。

基準地震動 S_s による地震応答解析により、図 10-1 に示す鋼管杭要素にて得られた最大発生軸力 N_{max} 及び最小発生軸力 N_{min} を用いて、 M_p （全塑性モーメント）を算定し、バイリニアモデルを設定した。各軸力におけるバイリニアモデルの比較を図 10-3 に示す。

いずれの軸力においても、 M_p （全塑性モーメント）に有意な差は無いことから、鋼管杭において、軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響は軽微であり、耐震評価において軸力が一定とされる有効応力解析コード「FLIP ver. 7.3.0_2」の当該非線形特性を用いることは妥当であるとする。

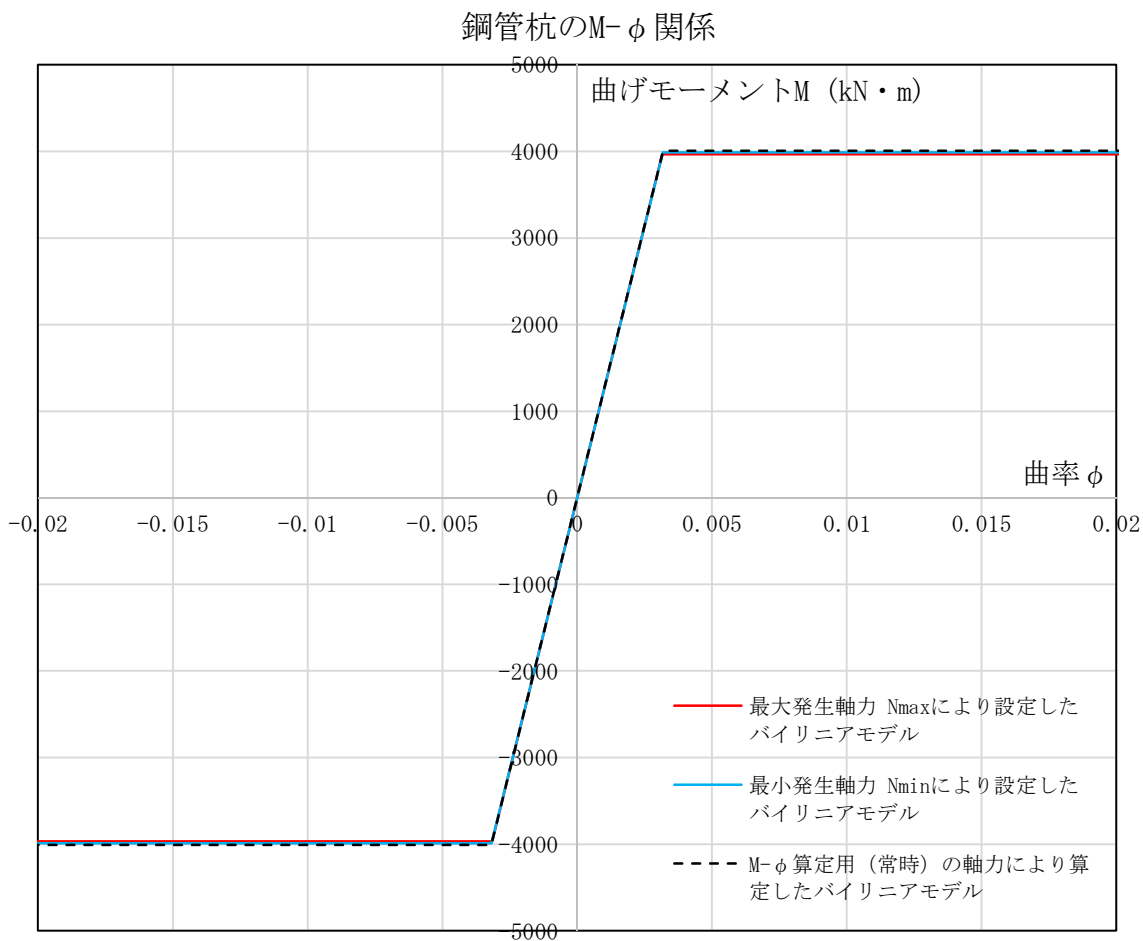


図 10-3 鋼管杭の発生軸力により設定したバイリニアモデル